



Geometrie a prodyšnost padákových tkanin

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství

Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie

Autor práce: **Bc. Kateřina Přívratská**

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



Geometry and air permeability of woven fabric

Master thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering

Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering

Author: **Bc. Kateřina Přivratská**

Supervisor: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková





Zadání diplomové práce

Geometrie a prodyšnost padákových tkanin

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina Přívratská**
Osobní číslo: **T16000063**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**
Akademický rok: **2017/2018**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši na téma materiálové složení, konstrukce, úpravy a z nich vyplývající vlastnosti tkanin pro padáky. Zaměřte se na geometrické vlastnosti, porozitu a prodyšnost z hlediska měřících metod i modelování.
2. Teoreticky popište zploštění multifilu ve vazném bodě tkaniny a jeho vliv na plošnou hmotnost, hustotu, objemový podíl vláken a porozitu.
3. Testujte základní geometrické vlastnosti padákových tkanin. Zaměřte se na vybrané metody měření prodyšnosti. Sledujte také anizotropii prodyšnosti.
4. Navrhněte vhodné parametry a měřící metody pro hodnocení vybraných vlastností padákových tkanin.

Rozsah grafických prací:

dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy:

cca 60 stran

Forma zpracování práce:

tištěná



Seznam odborné literatury:

- Cruz, J. R., O'Farrell, C., Hennings, E., Runnell, P.: Permeability of Two Parachute Fabrics – Measurements, Modeling and Applications, AIAA AVIATION Forum, 24th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference 5-9 June 2017, Denver, Colorado.
- Xiao, X., Zeng, X., Bandura, P., Long, A.: Experimental Study of Dynamic Air Permeability for Woven Fabric. TRJ 0(00) I-II, 2011. sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav, trj.sagepub.com.
- Militký, J., Klička, V.: Spatial Statistics and Surface Uniformity of Nonwovens, Chapter 27 in book Selected Topics of Textile and Material Science, Publishing House of WBU, 2011, ISBN: 978-80-261-0062-1.

Vedoucí práce:

doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková
Katedra materiálového inženýrství

Konzultant práce:


prof. Ing. Jiří Militký, CSc.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

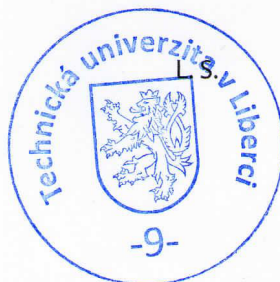
22. prosince 2017

Předpokládaný termín odevzdání:

4. května 2018


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

V Liberci 22. prosince 2017




doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tom-to případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

17. 4. 2019

Bc. Kateřina Přívratská

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové, a také p. prof. Ing. Jiřímu Militkému, CSc. za odborné konzultace, cenné připomínky a čas, který mi v rámci práce věnovali. Dále bych ráda poděkovala firmě Sky Paragliders za poskytnutí vzorků tkanin, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout, a také řediteli firmy Ing. Martinu Němcovi a dalším pracovníkům za poskytnutí cenných informací z praxe. Také bych ráda poděkovala pracovníkům katedry materiálového inženýrství a katedry hodnocení textilií za možnost využití laboratorní techniky a za jejich poskytnuté rady při testování.

Mé poděkování patří také rodině a přátelům, kteří mi byli psychickou i materiální oporou po celou dobu studia.

Anotace

Diplomová práce se zabývá hodnocením padákových tkanin z hlediska jejich geometrické struktury, a také prodyšnosti. V úvodu rešeršní části jsou charakterizovány padákové tkaniny a jsou zde uvedeny požadavky na jejich vlastnosti. Další část rešerše se zabývá popisem parametrů tkanin a multifilu, jako základního prvku struktury padákových tkanin. Multifil je zde hodnocen především z hlediska jeho příčné deformace ve tkanině, která má vliv na koncové vlastnosti padákových tkanin.

Značná část práce je věnována testování prodyšnosti, která byla hodnocena pomocí třech měřících přístrojů. V rámci prodyšnosti je hodnocena její závislost na tlakovém rozdílu a jsou ověřovány modely popisující tuto závislost. Je zde také hodnocena nerovnoměrnost prodyšnosti v určitých částech tkanin.

Motivací práce je navržení teoretického modelu pro predikci vlastností padákových tkanin, jako je zejména plošná hmotnost, porozita a s ní související prodyšnost. Vztahy jsou navrženy v závislosti na zploštění multifilu. Výsledky vztahů jsou následně ověřovány pomocí experimentálně získaných hodnot.

Klíčová slova

Padákové tkaniny

Multifil

Prodyšnost

Nerovnoměrnost

Predikce

Annotation

The thesis deals with the evaluation of parachute fabrics in terms of their geometric structure and also their air permability. Parachute fabrics are characterized in the introduction of the search section and requirements for their properties. The next part of the research deals with the description of parameters of fabrics and multifilament as a basic element of the structure of parachute fabrics. Multifil is evaluated here primarily in terms of its lateral deformation in the fabric, which affects the resulting properties of parachute fabrics.

Significant part of the thesis is devoted to testing air permability, which was evaluated using three measuring instruments. There is evaluated dependence of air permeability on pressure difference and models describing this dependence are verified. There is also assessed the non-uniformity of air permeability in certain parts of fabrics.

The motivation of the thesis is to propose a theoretical model for predicting important properties of parachute fabrics, such as, basis weight, porosity and associated air permeability. Relationships are designed based on flattening multifilament. The results of relationships are then verified using experimentally obtained values.

Key words

Parachute fabrics

Multifil

Air permeability

Irregularities

Prediction

Obsah

Obsah	9
Seznam použitých symbolů a značek	12
Úvod	14
1. Rešeršní část	15
1.1. Historie	15
1.1.1. Historie parašutismu	15
1.1.2. Historie paraglidingu	21
1.2. Druhy padáků	22
1.2.1. Kruhový padák	23
1.2.2. Padák typu křídlo	24
1.2.3. Padákový kluzák	24
1.2.4. Záložní padák	25
1.3. Charakteristika padákových tkanin	26
1.3.1. Výroba tkaniny	26
1.3.2. Požadované vlastnosti padákových tkanin	27
1.4. Materiály používané pro výrobu padákových tkanin	28
1.4.1. Polyesterová vlákna	28
1.4.2. Polyamidová vlákna	29
1.5. Struktura a vlastnosti multifilu	31
1.4.1. Jemnost	31
1.4.2. Průměr	32
1.4.3. Zaplnění multifilu	33
1.5. Struktura a vlastnosti multifilových tkanin	34
1.5.1. Vazba	34
1.5.2. Vazná vlna	35

1.5.3.	Deformace multifilu ve vazném bodě	37
1.5.4.	Deformace příze dle Neckáře	38
1.5.5.	Dostava tkanin	39
1.5.6.	Setkání.....	39
1.5.7.	Plošná hmotnost a hustota tkanin	40
1.5.8.	Tloušťka plošné textilie	40
1.5.9.	Zakrytí tkaniny	41
1.6.	Porózita	42
1.6.1.	Obecná definice	42
1.6.2.	Plošná porozita	42
1.6.3.	Objemová interpretace porozity	43
1.6.4.	3-D model porosity dle Havrdové	44
1.6.5.	Další přístupy pro hodnocení porozity	45
1.7.	Prodyšnost	46
1.7.1.	Definice	46
1.7.2.	Statická.....	46
1.7.3.	Dynamická	46
1.7.4.	Lineární model	47
1.7.5.	Predikce prodyšnosti pomocí lineárního modelu	47
1.7.6.	Predikce prodyšnosti pomocí kvadratického modelu.....	48
1.7.7.	Predikce prodyšnosti dle Ogulaty	49
1.7.8.	Nestejnoměrnost prodyšnosti v ploše tkaniny	50
1.8.	Měřicí přístroje pro hodnocení prodyšnosti	52
1.8.1.	Měřicí přístroj FX 3300	53
1.8.2.	Porozimetr.....	53
1.8.3.	Měřicí zařízení MPT 01	55
2.	Návrh vztahů pro predikci vlastností padákových tkanin.....	56

3.	Experimentální část.....	60
3.4.	Charakteristiky testovaných materiálů	60
3.5.	Metodika testování.....	61
3.6.	Hodnocení multifilů ve tkanině	61
3.7.	Hodnocení dostavy	63
3.8.	Plošná hmotnost, tloušťka a poróznost tkanin	65
3.9.	Prodyšnost	67
3.9.1.	Hodnocení prodyšnosti na přístroji FX 3300	67
3.9.2.	Hodnocení prodyšnosti na Porozimetru	76
3.9.3.	Hodnocení statické a dynamické prodyšnosti na MPT 01.....	81
4.	Výsledky predikce vlastností padákových tkanin	85
4.4.	Ověření navržených vztahů	85
4.5.	Predikce vlastností padákových tkanin dle navržených vztahů	88
5.	Závěr.....	93
	Seznam použité literatury	96
	Seznam obrázků.....	100
	Přílohy	104
1.	Příloha 1 – Snímky podélných pohledů a příčných řezů	104
2.	Příloha 2 – Prodyšnost (FX 3300).....	105
3.	Příloha 3 – Vliv tlakového spádu na prodyšnost	110
4.	Příloha 4 - Prodyšnost (Porozimetr)	110
5.	Příloha 5 - Prodyšnost (MPT 01).....	113
6.	Příloha 6 – Výsledky predikce vlastností padákových tkanin.....	115

Seznam použitých symbolů a značek

a	[m]	šířka průřezu příze
A	[m]	rozteč nití
A_s	[m ²]	plocha řezu příze
α	[m]	poměrná šířka deformované příze
b	[m]	výška průřezu příze
β	[m]	poměrná výška deformované příze
d	[m]	průměr vlákna
d_o	[m]	průměr osnovní nitě
d_u	[m]	průměr útkové nitě
D	[m]	průměr příze
D_n	[m]	průměr kruhu
D_T	[m]	průměr multifilu
Do	[1/m]	dostava osnovních nití
Du	[1/m]	dostava útkových nití
Dos	[1/m]	čtvercová dostava ($D_o=D_u$)
Dos_{lim}	[1/m]	limitní dostava
Dos_{ef}	[1/m]	efektivní dostava
Dos_R	[1/m]	dostava pro vazbu ripstop
D_p	[m]	hydraulický průměr póru
δ	[-]	přepočtení koeficient
δ_α	[-]	relativní rozšíření příze
δ_β	[-]	relativní stlačení příze
e	[-]	zvlnění
ε	[-]	porozita
ε_G	[-]	porozita dle Gooijera
ε_H	[-]	porozita dle Havrdové
ε_s	[-]	plošná porozita
ε_v	[-]	objemová porozita
f_p	[-]	součinitel tření
Grp	[-]	modifikované Reynoldsovo číslo
G	[g/m ²]	plošná hmotnost (z Dos , T , se)
h	[m]	vzdálenost nití v průřezu příze
i	[-]	počet radiálních vrstev multifilu
l	[-]	piezometrický gradient
ld	[-]	disperzní index
k	[-]	koeficient filrace
k_p	[-]	přepočtení konstanta tlaku
K_1	[m]	lineární člen Ergunova modelu
K_2	[m ²]	kvadratický člen Ergunova modelu
l	[m]	délka
L	[m]	obvod (Kempova průřezu)
M	[-]	počet řádků (ve směru útku)
$m_{1,2,3,4}$	[-]	počet pórů typu 1,2,3,4
m	[-]	hmotnost
μ	[-]	zaplnění příze
μ_s	[-]	plošné zaplnění příze
μ_p	[-]	objemové zaplnění příze
μ_v	[-]	objemové zaplnění příze
μ_{lim}	[-]	limitní zaplnění
μ_{vtk}	[-]	objemové zaplnění tkaniny
N	[-]	počet sloupců (směr osnovy)

n	[-]	počet vláken v multifilu
n_o	[-]	počet osnovních nití
n_u	[-]	počet útkových nití
η	[m ² /s]	kinematická viskozita vzduchu
Pr	[l/m ² /s]	prodyšnost
Δp	[Pa]	rozdíl tlaků
Q	[-]	objemový průtok tekutiny filrem
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
ρ	[kg/m ³]	hustota (měrná hmotnost)
ρ_a	[kg/m ³]	hustota vzduchu
ρ_p	[kg/m ³]	hustota příze
ρ_{vl}	[kg/m ³]	hustota vlákna
ρ_s	[kg/m ³]	plošná měrná hmotnost tkaniny
ρ_v	[kg/m ³]	objemová měrná hmotnost tkaniny
S_c	[m ²]	celková plocha
S_p	[m ²]	plocha příčného řezu příze
S_{vl}	[m ²]	plocha příčného řezu vlákna
Se	[%]	setkání nití
s^2	[-]	rozptyl
t	[tex]	jemnost vlákna
T	[tex]	jemnost multifilu (příze)
τ	[s]	čas
U_m	[m/s]	prodyšnost dle Ogulaty
V_c	[m ³]	celkový objem
V_p	[m ³]	objem příze
V_{vl}	[m ³]	objem vlákna
$V_{1,2,3,4}$	[m ³]	objem póru typu 1,2,3,4
V_{cp}	[m ³]	celkový objem pórové buňky
V_{zo-}	[m ³]	objem póru s nezakříž. osn. nitěmi
V_{uo+}	[m ³]	objem póru se zakříž. osn. nitěmi
v_f	[m/s]	rychlost proudění tekutiny
v_s	[m/s]	rychlost proudění vzduchu
v	[Pa.s]	dynamická viskozita vzduchu
Φ	[-]	sféricita (kulovitost)
x	[-]	střední hodnota
Z	[-]	celkové zakrytí tkaniny

Úvod

Tématem diplomové práce je studium geometrické struktury a hodnocení prodyšnosti padákových tkanin, určených zejména pro výrobu záchranných padáků. Základním strukturním elementem padákových tkanin je multifil. Je zde studována jeho geometrie a především jeho deformace ve vazném bodě. Následně je hodnocen vliv míry zploštění multifilu na koncové vlastnosti tkanin. Důležitou užitnou vlastností padákových tkanin je zejména jejich prodyšnost, které je zde proto věnována větší pozornost v rešeršní i v experimentální části práce. Diplomová práce zároveň vznikala souběžně s vývojem nové padákové tkaniny z PET, jejíž vlastnosti by měly být srovnatelné s běžně užívanými polyamidovými tkaninami. Další motivací práce proto bylo navržení vztahů pro teoretickou predikci vlastností padákových tkanin, vycházejících ze zploštění multifilu.

Diplomová práce má několik dílčích cílů, proto je rozčleněna do několika větších částí, rešerše, návrhu predikčních vztahů, experimentu, vyhodnocení navrženého modelu a závěrečného zhodnocení dosažených výsledků. Úvod rešeršní části je věnován seznámení se s vývojem padáků a materiálů používaných pro výrobu padákových tkanin. Z materiálů jsou zde porovnávány především vlastnosti polyamidových a polyesterových vláken, ze kterých jsou vyrobeny tkaniny určené k hodnocení. Další část je věnována popisu struktury multifilu. Je zde studována jeho kompaktní plástvová struktura dle Neckáře [32] a především jeho zploštění ve vazném bodě tkaniny. V rámci popisu struktury tkanin jsou uvedeny jejich základní geometrické parametry a jsou popsány různé modely popisu vazné vlny. Pozornost je věnována také porozitě padákových tkanin, která úzce souvisí s prodyšností.

Padákovými tkaninami se zabývalo už několik prací. Jeřábková například ve své práci [92] hodnotí jejich strukturu vlivem povrchových úprav, Hrbatové se ve své práci [90] zabývala kvalitou švů padákových tkanin vlivem UV záření a Martinovská ve své práci [91] hodnotí pevnost švů paraglidingových padáků. Žádná z těchto prací se prodyšnosti padákových tkanin výrazněji nezabývala. Proto je zde, pro nalezení nových poznatků, prodyšnosti věnovávána další větší kapitola. Je zavedena její obecná definice, je popsán rozdíl mezi statickou a dynamickou prodyšností a jsou zde uvedeny vybrané modely pro predikci prodyšnosti vycházející zejména z porozity. Jsou tu popsány také možnosti hodnocení nestejnomyšernosti prodyšnosti v ploše, které bude jednou z částí experimentu. Problematikou struktury, porozity a prodyšnosti multifilových tkanin se ve své práci [52] zabývala například Šafaříková, Havlová [58], Kodydkoková [93] a další, které čerpají i z dalších studijních prací zabývajících se podobnou tematikou, například od Havrdové [9], Militkého [8] nebo Gooijera [57], Beckera [54] a dalších.

Na rešeršní část navazuje kapitola, jejímž cílem je navržení vztahů pro predikci vybraných vlastností padákových tkanin, které mají vliv na porozitu, respektive prodyšnost tkanin. Cílem je navrhnout teoretické vztahy v závislosti na zploštění multifilu, tak aby bylo možné sledovat změnu vlastností při různé úrovni zploštění. Výsledný model by měl být co nejjednodušší, závislý na co nejméně dalších parametrech, aby bylo možné jeho jednoduché využití k praktickým účelům odhadu vlastností padákových tkanin.

V rámci experimentu byly hodnoceny základní geometrické vlastnosti sledované v teoretické části práce. Pro testování je k dispozici sada vzorků padákových tkanin, které byly poskytnuty firmou Sky Paragliders. Jedná se o vzorky multifilových kalandrovaných tkanin z PAD 6.6, jedné surové tkaniny z PAD 6.6 a dvou prototypů tkanin z PET, jedné v surovém stavu a druhé v úpravě praní, fixace. Větší

část experimentu je věnována hodnocení prodyšnosti, která bude měřena na třech měřicích zařízeních, přístroji FX 3300, Porožimetru a experimentálním zařízení MPT 01. Bude hodnocena průměrná prodyšnost tkanin, její závislost na tlakovém spádu, dle studovaných teoretických modelů a také rovnoměrnost prodyšnosti v ploše. Dále bude hodnocena korelace hodnot z jednotlivých přístrojů.

Důležitou částí práce je závěrečná část experimentu, kdy bude vyhodnocen navržený predikční model a porovnán s experimentálně naměřenými hodnotami. Bude vyhodnocen vliv zploštění multifilu na sledované vlastnosti tkanin a budou stanoveny vhodné parametry pro konstrukci padákových tkanin. Dílčím výsledkem bude porovnání PET padákové tkaniny s tkaninami z PAD 6.6.

1. Rešeršní část

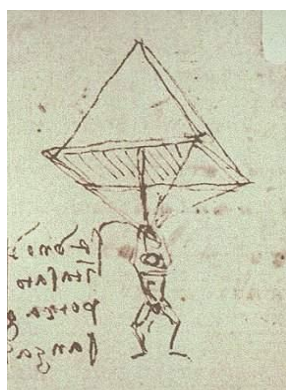
1.1. Historie

1.1.1. Historie parašutismu

„Na začátku byla legenda. Bez mýtů by nebyl ani padák.“ [1]

Mnoho vynálezců hledalo inspiraci pro své objevy v přírodních jevech. I v případě vynálezu prvních padáků sehrálo svou roli napodobování přírody a odvěká touha člověka létat jako pták.

Pokud budeme historii padáků zkoumat od prvopočátků, prameny, ze kterých vychází publikace Petra Paška [1] a další [2] [3] se shodují, že za prvního skutečného vynálezce padáku je považován slavný umělec Italské Renesance a geniální vynálezce Leonardo da Vinci. Velkou část svého života mimo jiné, zasvětil studiu vzduchoplavby. Navíc je zřejmě prvním badatelem na světě, který se zabýval padákem vědecky. Na (obr. 1,2) vidíme Leonardův padák ve tvaru pyramidy, jeho náskres je nám znám z roku 1495. Tento padák se měl vyznačovat svými funkčními vlastnostmi tak, aby co nejvíce napodoboval přírodní předlohu a aby byl především prakticky použitelný. Zachován nám zůstal jen v jeho náčrtku s rukopisy zašifrovanými zrcadlovým písmem. [1]



Obr. 1 Náskres padáku Leonarda da Vinci [4], Obr. 2: Model padáku Leonarda da Vinci[5]

Dlouhou debatu o tom, zda by tento padák opravdu fungoval, v roce 2000 ukončil anglický parašutista Adrian Nicholas. Rozhodl se sestrojít padák podle původního nákresu a popisu Leonarda da Vincioho a odzkoušel ho ještě téhož roku v Jihoafrické republice. Pomocí horkovzdušného balonu se nechal vynést do výšky 3 500 metrů a odtud s padákem vyskočil. Pokus byl i přes všechny pochybnosti úspěšný a bylo tak potvrzeno, že konstrukce padáku navržená před již pěti sty lety funguje. [2]

Jedinou otázkou nám tedy zůstává, jestli by padák fungoval i za použití tehdy pro padáky používaného bavlněného (případně hedvábného) plátna.

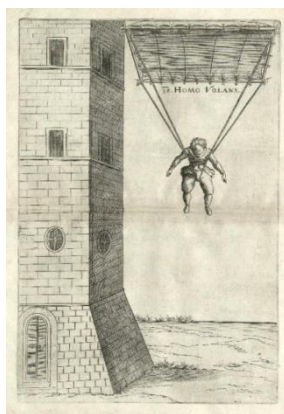
Ve zdrojích [1][4] se můžeme dočíst o záznamech z kronik, které mluví o tom, že mateřskou zemí parašutismu byla Čína. Jsou zde popisovány různé skokanské atrakce na papírových „padácích“, které se prováděli při různých slavnostech, již ve 12. století. V uváděných zdrojích se můžeme také dočíst, že první padák na světě byl sestrojen již v době před pěti tisíci lety, tento padák je znázorňován ve tvaru velkého obráceného klobouku se třemi šňůrami. Letci na těchto typech padáků však bohužel dle záznamů nikdy nepřežili. [1][2]

V německých letopisech z roku 1306, je uveden záznam o tehdejších seskocích odvážných akrobatů na primitivních padácích ve tvaru deštníku na čínském císařském dvoře. V roce 1539 je se zmínkami o parašutismu spojován také italský umělec Benvenuto Cellini (3. listopadu 1500 Florencie – 13. února 1571). Je uváděno, že si z prostěradla a šňůr vytvořil padák a unikl tak z vězeňské věže. V tehdejší době to bylo něco nevídaného a díky tomuto počínu byl prohlášen za čaroděje. Krátce na to byl zatčen svatou inkvizicí. [1]

I v Ruských letopisech se objevuje tehdejší nelibost a neporozumění k parašutismu. Je zde líčen tragický příběh o nevolníkovi jménem Nikitin, kterému se údajně v roce 1538 povedl úspěšný let s padákem. Tehdejší ruský car Ivan Hrozný tomuto vynálezci nechal setnout hlavu, se slovy: „Člověk není pták, nemá křídla. Jestliže si je vyrobí, ať již ze dřeva či z peří, je to proti přirozenosti. Nemůže to být proto dílo bohulíbé, leč vliv síly nečisté.“ Létání s padákem bylo tehdy považováno za „styky s ďáblem“. [1]

Teprve počátkem 17. stol. Je popisováno představení siamského královského akrobata nizozemským konzulem jako zajímavý počín. Tento akrobat byl dle popisu opatřen dvěma slunečníky s nosnými tyčemi, které měl pevně připoutané k pasu. Spustil se z vysokého bambusu a přistál přímo na vyznačené místo. Toto by mohlo být považováno za první svědectví „o seskoku spojeném s podmínkou přesného přistání“. [1]

Vraťme se o kousek zpět. Po da Vinciho návrhu padáku můžeme další bod v historii parašutismu sledovat v roce 1615 (nebo 1616), kdy renesanční učenec Fausto Veranzio, nebo také Faust Vrančic (asi 1551, Šibenik – 17. leden 1617, Benátky) vydává své významné dílo *Machinae Novae*. V jednom z příspěvků tu popisuje padák skládající se ze čtyř dřevěných tyčí potažených plátnem, nazvaný *Homo Volans* (člověk letící). Při tomto návrhu vychází z nákresu Leonarda da Vinciho, který však svůj návrh zřejmě nikdy nezrealizoval a neodzkoušel. Fausta Veranzia tedy můžeme považovat za jednoho z prvních průkopníků, kterým se podařilo padák navrhnout, zkonstruovat a také prakticky odzkoušet. Známy je jeho seskok z Benátské věže, který můžeme vidět na (obr. 3.). [1] [5]



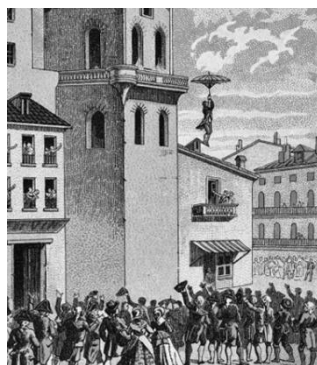
Obr. 3: Seskok Fausta Veranezia z Benátské věže [11]

O datumu, kdy se měl tento seskok uskutečnit, se objevuje několik variant. Italské prameny uvádějí rok 1617, jiné už rok 1594. Po tomto seskoku byl Veranzio zatčen inkvizicí a ve věznici zůstal až do začátku 17. Stol, hned po propuštění však začal s pokusy znovu. Podařilo se mu uprchnout do Londýna, kde zopakoval svůj první pokus, po té seskakoval také v Paříži a znovu v Benátkách, kde byl seskok v roce 1617 jeho posledním. [1]

V Paříži v roce 1777 se o další seskok zasloužil jistý profesor Fontagne. Dcmicius Dufort, tehdy odsouzený vrah s příslibem milosti souhlasil, že se stane pokusným „letcem“ pro profesorův „létající plášť“. Skok byl naplánován z vrcholu zbrojnice, kde Fotnatgne Dufortovi navlékl plášť, podal mu drobné instrukce a odsouzenec skočil. Při letu Dufurt rozevřel plášť, tak jak mu bylo řečeno a bezpečně přistál na zem. [1] [2]

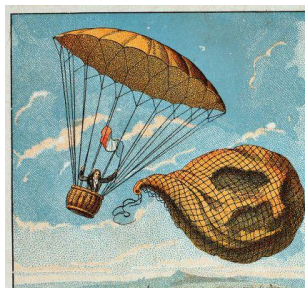
Další rozvoj byl zaznamenán koncem 18. Stol. V roce 1781 se vynálezce a vzduchoplavec Pierre Blanchard (1753–1807) zasloužil o zrod záchranných padáků, které byly v té době vytvořeny především pro ochranu posádky „balónových strojů“. Tyto padáky napomáhaly zpomalení dopadu při případné nehodě. Blanchard je znám také svými pokusy s padáky, kde jako posádku balónu používal zvířata. [1]

V těchto letech vznikalo mnoho dalších pokusů o sestrojení záchranných padáků. Tato snaha inspirovali i profesora fyziky a chemie Louise Sebastiana Lenormanda (1757–1837) k vytvoření slova „parachute“, které vzniklo (1785) spojením slov „para“ (u, podle, vedle, mimo) a „chute“ (pád). V překladu tedy „mimo pád“. Také Lenormande se pokusil o sestrojení vlastního padáku. Z roku 1783 je znám jeho seskok z observatoře v Montpellier (obr. 4.). Konstrukci svého nově vylepšeného padáku popsal takto: „Ze silného provazu jsem zhotovil kruh a průměru 14 stop. Kolem něj jsem upevnil plátěný kužel vysoký šest stop. Polepil jsem jej papírem, aby plátno bylo neprodyšné. Dále jsem použil gumou potažený taft, velmi elastický. Kolem kužele jsem připevnil 32 šňůr, na opačném konci nesly proutěný rám sloužící jak sedátko.“ [1] [2]



Obr. 4: L. S. Lenormande při seskoku z observatoře v Montpellier (1783) [7]

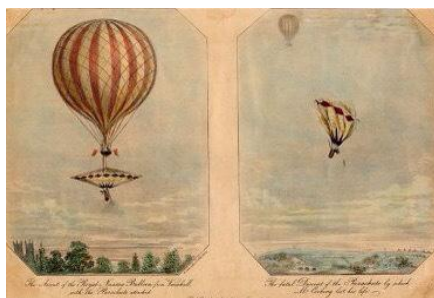
Dalším významným „letcem“ nebo také „aeronautem“ byl Francouz André Jacques Garnerin (1769–1823). Sestrojil vlastní teplovzdušný balón, ze kterého v roce 1797 provedl svůj první seskok na tehdy ještě neovladatelném padáku. Podařilo se mu bezpečně přistát na nedalekém poli. Tento Garnerinův seskokový padák byl výjimečný svým deštníkovým tvarem (do té doby se používala jehlanová konstrukce), byl zhotoven z plachtoviny a byl opleten sítí, měřil v průměru asi deset metrů. Později se jeho bratři Jean Baptiste Oliverovi Garnerinovi podařilo padák ještě vylepšit tím, že odstranil pevnou konstrukci z dřevěných tyčí, která se do té doby používala pro stabilitu padáku, a nahradil ji šňůrami. Tak vznikl nový typ bezrámového složitelného padáku. Odstraněním pevné konstrukce se mu také podařilo snížit váhu padáku ze 120 kg na desetinu. André Jacques Garnerin je mimo své revoluční vynálezy považován také za prvního aeronauta, který začal shromažďovat literaturu o balónovém létání a parašutismu. [1] [2]



Obr. 5: První bezrámový padák od André Garnerina z roku 1779 [7]

Za zmínku stojí také jméno Elisa Garnerinová (1791 Paříž), dcera Jeana Baptiste Olivera Garnerina, která byla první ženou parašutistkou na světě. Svůj první seskok uskutečnila v Paříži v roce 1814 a v roce 1820 si připisovala na svůj seznam už čtyřicátý seskok. Jejím nejproslulejším počinem byl seskok do moře (Itálie).[1]

Slepu uličkou ve vývoji se stala nová konstrukce padáku, s názvem vypovídajícím o jeho tvaru, „Pampeliška“. Matematik Spencer Collins nebyl první, kdo se tímto principem zabýval. Po pokusu, který se uskutečnil v roce 1837, se definitivně ukázalo, že se jedná o nešťastnou konstrukci. Padák byl zároveň velmi těžký a po uvolnění z balónu začal okamžitě klesat k zemi závratnou rychlostí. Artist Robert Cocking seskok s tímto padákem nepřežil. [1]



Obr. 6 Záznam pádu R. Cockinga na novém typu padáku „Pampeliška“ [8]

Jeden z dalších významných objevů pochází z roku 1911, kdy se jistému Italovi jménem Pino podařilo vymyslet systém vytahování velkého padáku z vaku za pomoci malého padáčku. Tento systém se u seskokových padáků používá dodnes. [2]

V téže roce se podařil aeronautovi Grant Mortonovi první seskok z letadla, který se uskutečnil v Kalifornii. Tento seskok probíhal s padákem, který měl Morton složený v náručí a při seskoku z letadla ho vyhodil do vzduchu. Dalším významným objevem z roku 1911 byl vynález padáku uskladněného v pouzdře, který měl parašutista při seskoku připevněný na těle. Vynálezcem toho systému byl Rus Gleb Jevgeněvič Kotělnikov. Ačkoli na jeho domácí půdě v Rusku byl Kotělnikovův padák odmítnut, velký úspěch měly padáky velmi podobné konstrukce ve Francii a později i v dalších zemích, kam byl dle pramenů pravděpodobně prodán Kotělnikovův návrh bez jeho vědomí. A tudíž ho minula i sláva. [1][2]

Seskoky s padákem byly dlouhou dobu brány pouze jako atrakce, které se účastnili odvážní artisté. Často vycházely články namířené proti konstruktérům padáků, především ve Francii. Tam také dlouho panoval všeobecný zákon o zákazu létání. Na konci devatenáctého a na počátku dvacátého století byla parašutistům nejvíce otevřená Amerika, později se k ní přidávali také Rusko, Anglie a Německo. Žákyně skokana Lattemanna Kateřina Paulusová v roce 1910 vydala knihu s názvem „Odhalení vzdušného moře“. V pozdějších letech se Kateřina Paulusová stala majitelkou továrny na padáky, které byly používány za první světové války. [1]

Na počátku 20. Stol., po úspěšných pokusech bratří Wrightů, se začal užívat pro létání nový termín aviatika, který pochází z latinského slova avis – pták. V této době sílila potřeba padáku jako skutečného záchranného prostředku. V období kolem roku 1910 byl zaznamenán velký rozvoj letectví jako takového a padák si vybudoval svoje místo ve výstroji pilotů. Bylo uskutečněno mnoho pokusů seskoků z letadla. Na počátku první světové války byly zaznamenány první opravdové výsledky. V tomto období vznikla celá řada návrhů konstrukcí a systému uložení padáku v letadle, pro piloty v nouzi, avšak většina návrhů se ukázala jako v praxi nepoužitelná. [1]

První seskok z letadla byl uskutečněn v roce 1912 ve Spojených státech americkým kapitánem Berryem. Tyto pokusy se dařily a od této doby můžeme aviatické padáky označit za použitelné.

Významným objevem v historii letectví přispěl svým vynálezem Slovenský horník Štefan Banič. Jeho padák fungoval na principu deštníku, otevíral se soustavou pružin potažených textilií a letec ho měl připevněný na zádech. V roce 1913 svůj aviatický padák Banič předložil vládě USA a představitelům

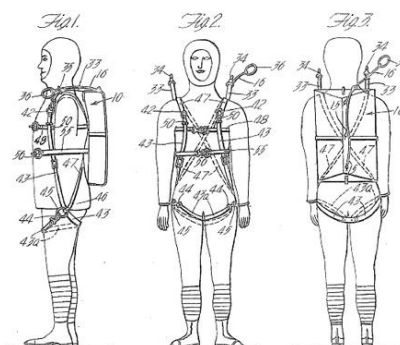
amerického letectva. Padák následně osobně odzkoušel a v srpnu roku 1914 si ho tu nechal patentovat. [1][2]

Za první světové války záchranné padáky zažily svůj velký rozmach, armádní letectva si čím dál více začala uvědomovat potřebu nějaké záchrany pro své piloty. Nicméně je s podivem, že tento záchranný prostředek ani v armádním prostředí stále nebyl samozřejmostí. Záchranné padáky se začali hojně používat nejen v balónovém letectví, ale od roku 1916 především i v armádním letectvu. Někteří vojenští velitelé, nejenom v carském Rusku, se jejich zavedení jako povinnou výbavu pilotů bránili, i přes četné pokusy jim nedůvěřovali. Prvními, kdo je zařadil do výstroje, byli zřejmě Němci, po té je následovali Britové, Francouzi a Američané. [1][2]

Ve Francii v této době byly používány padáky s vrchlíkem z hedvábí o ploše 68 m². Konstrukci pro rozložení udržovaly šňůry a celý padák byl uložen v obalu ve tvaru obráceného vědra. K rychlejšímu otevření padáku napomáhal vzduch stlačený v přídavném vaku. Tento padák vážil 11,8 kg a k jeho zabalení bylo potřeba šesti osob. Angličané tehdy ve svém armádním letectví používaly padáky značky Carlton, Američané padáky konstrukce Slovenského vynálezce Štefana Baniče a Němci kupovali od firem Heinecke a Kateřina Paulusové. Rusové nejprve používali padáky vyráběné ve Francii, ale ke konci války už používali také originální Kotělníkův padák RK-1. [1]



Obr. 7: Kotělníkov se svým padákem RK-1 připevněným na zádech (1911) [14]



Obr. 8: Připínací systém padáku vycházející z kotelníkoví konstrukce, patent Floyd Smith (1919) [14]

V roce 1918 ve Francii použil pilot Lallemand jako první na světě padák, který byl ovladatelný. K řízení sloužily popruhy a šňůry. S koncem první světové války zaznamenala velký rozvoj technika a sní i letectví, avšak vývoj parašutismu začal, až na dílčí soukromé úspěchy, spíše stagnovat. [1]



Obr. 9: Vojenský parašutista 1. Světové války [9]

V roce 1926 Ministerstvo národní obrany Československé republiky vydalo nařízení, že každý vojenský letec musí být při vzletu vybaven padákem. Toto prohlášení mělo sloužit jako dílčí ochrana letců, jelikož přibývalo smrtelných nehod. Výroba padáků však byla stále ponechána soukromým výrobcům. [1]

Větší rozmach zaznamenal parašutismus opět až několik let před druhou světovou válkou, kdy se vyráběly nové typy padáků. Celkově se dá říci, že v období světových válek se vývoj padáku stal výhradně záležitostí armádního letectva.



Obr. 10: Vojenští parašutisté 2. Světové války [10]

Ke konci první světové války začaly padáky kromě své původní záchranné funkce sloužit jako nová forma vojenské taktiky. Vznikaly nové oddíly tzv. vojenských výsadkářů. První skupinový výsadek za pomoci padáku proběhl za války tehdejšího Sovětského svazu proti Finsku v letech 1939-1940. Známa událost, kdy byl padák nově využit jako dopravní prostředek na místo určení, byl atentát na říšského protektora Reinharda Heydricha v květnu roku 1942. [2]

Po válečném období byl vývoj parašutismu směřován především sportovním směrem. Začala série soutěží, prvního mistrovství světa, které se konalo v roce 1954 ve Francii se účastnili i Českoslovenští parašutisté, kteří zde obhájili druhé místo. Po té se Čechoslováci několikrát prosadili dokonce jako mistři světa. [1][2]

1.1.2. Historie paraglidingu

Vývoj parašutismu směřující sportovním směrem dal vznik i novému typu létání s padákem - paraglidingu. Paragliding neboli let s padákovým kluzákem má počátky v 70. letech, a to v ovladatelných seskokových padácích, formovaných nápoem vzduchu, tedy v přechodu od kulatých padáků k padákům typu "křídlo". S nimi začaly první pokusy, kdy se piloti pro vzletnutí rozbíhali z kopce, zejména v podání amerických parašutistů. V Evropě byl mezi průkopníky paraglidingu Němec Dieter Strasilla, který v roce 1974 přišel se svou vlastní konstrukcí klouzavého padáku. V roce 1985 přichází konstruktér Laurent de Kalbematten s prvním originální konstrukcí padákového kluzáku nazvaného Randaneusse (horská tulačka). Tento padák ještě nemá příliš velkou „klouzavost“ *, létat se s ním dá pouze z prudkého svahu. [6]

Letové podmínky seskokových padáků v této době ještě nebyly příliš dobré, a proto se začalo rozvíjet také létání s rogalovými křídly. Když létání s rogaly později ztratilo na své oblíbenosti, začala se rozvíjet klasická padáková křídla z vhodnějších, neprodyšných materiálů. V této době se jako

*Klouzavost je definována jako poměr mezi dopřednou rychlostí a opadáním (klesáním).

materiál pro výrobu křídla používala především polyesterová tkanina. [6]

V roce 1986 přichází Paul Amiel s padákem Asterion, tvarem připomínající spíše „nafukovací matraci“. Tento padák znamenal značný technický pokrok. Výrazným vývojovým prvkem tohoto padáku byla nově vyvinutá tkanina se zátěrem. Díky povrchové úpravě se značně snížila propustnost vzduchu tkaninou, a tím se zvýšil výkon křídla (z hlediska rychlosti a klouzavosti). V 90. letech přibývalo pilotů a tím i firem zabývajících se výrobou padákových křídel. Vyvíjely se nové materiály, technologie a konstrukční postupy. Klouzavost se postupně zvýšila z 1:3,5 na 1:6 (dnes je to už 1:10). [6]

U nás byli průkopníky paraglidingu povětšinou horolezci, kteří se s tímto novým leteckým sportem setkávali poprvé v zahraničních horách. První domácí konstrukce paraglidového padáku byla vyvinuta v roce 1987, autorem byl Josef Tesař. Padák se vyráběl v sériově v závodě Kras Chornice, který poté prodával i vlastní tkaninu pro vrchlíky Uparnis. Do České republiky se dostávaly i nákresy zahraničních padáků a výjimkou tehdy nebylo, že si piloti padáky šili sami doma. To znamenalo, že vnikaly padáky různých kvalit. [6]

V roce 1988 byl paragliding zapsán jako samostatný letecký sport spadající pod obrannou organizaci Svazarm. Nyní jsou padákové kluzáky vedeny jako sportovní létající zařízení a dle zákonů o civilním letectví spadají pod správu Letecké amatérské asociace LAA. Pro létání s paraglidovým křídlem je třeba vlastnit odpovídající leteckou licenci. [6]

1.2. Druhy padáků

Padák je definován jako zařízení z pevné a lehké textilie určené ke zpomalení objektu (pilota, či nákladu) v atmosféře prostřednictvím vznikajícího odporu vzduchu. Používá se ke zpomalení pádu, nebo ke zkrácení brzdné dráhy objektu. [11]

Parašutismus - neboli seskok s padákem, původně záležitost čistě armádní se stala sportem a dala vzniknout i pozdějším dalším odvětvím leteckého sportu. Termín parašutismus pochází z francouzského slova para – ochrana (či mimo, vedle) a chute – pád. Seskok se provádí nejčastěji z letadla, je možný skok z balonu či dostatečně vysoké skalní hrany nebo stavby. Při parašutismu jsou používány zpravidla dva padáky, hlavní a záložní. [12]

Paragliding – je letecký sport využívající paraglidingový typ padáku (křídla), který je označován jako padákový kluzák. Tento padák dle Letecké Amatérské Asociace ČR [13] spadá do kategorie sportovních létajících zařízení a paragliding podléhá Zákonům o civilním letectví. [12] Při paraglidingu se startuje z kopce či pomocí navijáku a při využití termiky a stoupavých proudů lze i stoupat a uskutečnit i dlouhé přelety. Padákový kluzák se dá použít i s motorovým pohonem a létat tak bez využívání termiky. Důležitou součástí, stejně jako u parašutismu, je při tomto sportu záložní padák, který slouží jako ochranný prvek v případě kolapsu padákového kluzáku. [6] Více o paraglidingu např. v publikacích [6] [14]

Ostatní letecké sporty užívající záchranné padákové systémy – záchranné padáky se používají i u dalších létajících zařízení jako jsou rogal, ultralehká letadla, vírníky a vrtulníky. Zde se často používá balistických systémů, kdy je záchranný padák do prostoru vystřelen raketovým pohonem.

Dnes můžeme podle konstrukce padáky rozdělit do tří základních skupin: [12]

- Padáky kupolovitého (kruhového) tvaru
- Komorové padáky obdélníkového tvaru
- Padákové kluzáky

Podle použití se dále dělí na padáky hlavní a záložní.

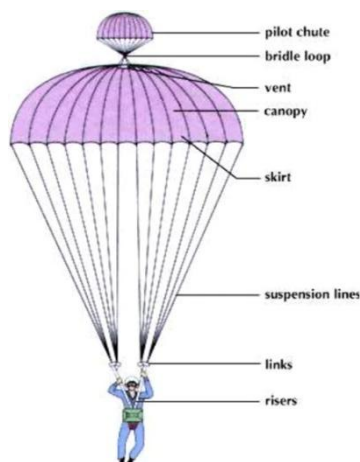
1.2.1. Kruhový padák

Na obr. 11 je zobrazen jeden z typů kruhového padáku. Jak je vidět na obrázku, ve středu padáku je otvor pro centrální únik části vzduchu, čímž je zajištěno rychlé a plynulé nafouknutí a stabilita při klesání. Historické padáky až do počátku 2. světové války neměly otvory žádné, otevření padáku tak způsobovalo velký náraz, což bylo velmi nebezpečné. Tento typ se používá jako nouzový záložní padák nebo jako padák pro snášení nákladu. Díky jednopotahové konstrukci je lehký, není ovšem říditelný. [15]



Obr. 11: Současný kruhový typ padáku [15]

Na obr. 12 je zobrazen náčrtek s popisem staršího typu kruhového padáku.



Obr. 12 Náčrtek kruhového padáku [12]

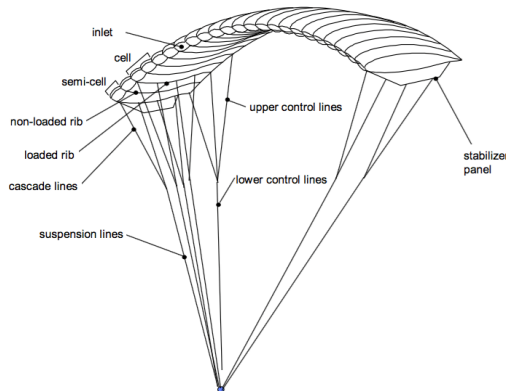
1.2.2. Padák typu křídlo

První padáky určené k ovladatelnému letu vznikaly na počátku 80. let, měli obdélníkový tvar vrchlíku a řídící šňůry. Padák typu křídlo se během historie vyvíjel a i v této kategorii dnes rozlišujeme několik typů, např. dle [32]. Tyto typy mají již určitou dopřednou rychlost, směr letu se ovládá přenášením váhy na jednotlivé popruhy nebo brzděním jedné strany. Je možné tedy volit místo přistání a hlavně pomocí řídících šňůr při přistání přibrzdit padák a bezpečně přistát. [16]



Obr. 13: Ovladatelný seskokový padák obdélníkového tvaru ze 70. let [16]

Na obr. 12 je znázorněn náčrt a popis parašutistického padáku obdélníkového tvaru. Základní dvě části tohoto padáku jsou textilní vrchlík a šňůry v několika řadách. Vrchlík je tvořen horním a spodním potahem a žebry, vytvářející komory plněné vzduchem. [17]



Obr. 14: Obecný popis parašutistického padáku [17]

1.2.3. Padákový kluzák

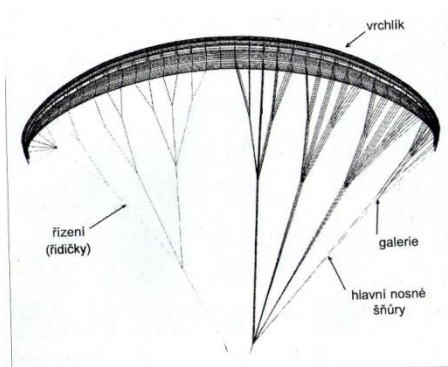
Z prvních pokusů odstartovat rozběhem z kopce a použít seskokový padák k sestupu z hor vznikl samostatný sport – paragliding. Křídla procházela postupným vývojem. Zvyšovala se klouzavost (poměr dopředné rychlosti vůči opadání) až na hodnoty, umožňující plnohodnotné přelety o stovkách km. Dnes se vyrábějí kluzáky až velmi štíhlých tvarů. Vývojem prošla nejen konstrukce, ale i používané materiály, dnes především padáková tkanina pod obchodním názvem „Skytex“ nebo

„Gelvenor“ (viz kapitola o materiálech). [6] Na obr. 15 je padákový kluzák nazvaný Kudos od firmy Sky Paragliders.



Obr. 15: Paraglidový kluzák od firmy Sky Paragliders [18]

Na obr. 13 je znázorněn jednoduchý náčrt paraglidového kluzáku. Jeho základní konstrukce se skládá ze tří částí – vrchlíku, šňůr a popruhů (které nejsou na obrázku znázorněny). Vrchlík je zásadní částí padáku, je vyroben z technické tkaniny (viz kapitola o materiálech) a skládá se z vrchního a spodního potahu, mezi nimiž jsou žebra a výztuhy. Celkový počet jednotlivých dílů pro výrobu vrchlíku může dosáhnout až okolo 1000 kusů a celková spotřeba tkaniny na vrchlík se pohybuje okolo 100 m². Prostory mezi potahy a žebry se nazývají komory. Přední hrana vrchlíku ve směru letu je hrana náběžná, zadní odtoková. V náběžné hraně jsou otvory pro plnění vrchlíku vzduchem. Žebra mají tvar leteckého profilu, po plném nafouknutí vrchlík získává tvar křídla. Obtékáním vzduchu kolem vrchlíku při letu vzniká díky leteckému profilu vztahová síla, která výrazně snižuje opadání a umožňuje let. Na spojích žebířů a spodního potahu jsou uchycena poutka pro vyvážení šňůr. Důležitá je také stejnoměrná prodyšnost tkaniny, při zatížení je nutné zachovávat stálou geometrii vrchlíku a to by různě prodyšné komory neumožňovaly. [6]



Obr. 16: Základní popis paraglidového kluzáku [6]

1.2.4. Záložní padák

Záložní padák slouží jako záloha v případě, že selže hlavní padák nebo nastane jiná nebezpečná situace. Pokud ho pilot používá jen pro nečekaný stav nouze, volí co nejlehčí variantu. Tím bývá kruhový typ, většinou bez možnosti řízení. Základními požadavky na záložní padák je především jeho stoprocentní spolehlivost při otevření a stabilita. Dalšími důležitými parametry je rychlost opadání a možnost řízení (ovladatelnost) padáku. Rychlost opadání udává rychlost klesání k zemi, u dnešních záložních padáků se pohybuje okolo 4 až 6 m/s. Vlastnosti záložního padáku jsou dány druhem

použitých materiálů, výrobních technologií a také typem konstrukce padáku a tvarem vrchlíku. Při výběru záložního padáku je nutné zvolit odpovídající velikost dle váhy pilota či létajícího zařízení. Hledá se kompromis mezi plochou určující velikost opadání a rychlost otevření. Čím větší padák, tím delší čas je potřeba na plné nafouknutí. Důležitá je pravidelná kontrola a přebalování záložního padáku, která se provádí každý rok. [19]

Dle typu konstrukce můžeme záložní padáky rozdělit do třech skupin: [19]

- se středovou šňůrou (tzv. Apex konstrukce)
- se středovou šňůrou a dvoupplášťovou konstrukcí
- se středovou šňůrou, dvoupplášťovou konstrukcí a uzpůsobením vrchlíku pro dopředný pohyb

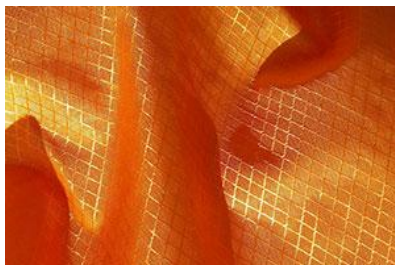
Středová šňůra částečně zkracuje dobu nutnou k otevření padáku a zvětšuje projekční plochu padáku, čímž se zvyšuje jeho účinnost. Dvoupplášťová konstrukce znamená, že vrchlík záložního padáku je ušitý ze dvou na sobě nezávislých částí - kopule vrchlíku a obvodové části a jsou uzpůsobeny tak, aby vytvářely průduchy. Výhodou této konstrukce je rychlejší plnění (otevírání) padáku, větší stabilita a nižší součinitel opadání. Třetí typ konstrukce zvyšuje stabilitu padáku a jeho řiditelnost umožňuje pilotovi výběr bezpečného přistávacího místa. [19]

1.3. Charakteristika padákových tkanin

V současné době se ve světě i u nás vyrábí padáky převážně z materiálu známého pod obchodním názvem Skytex, který je vyráběn francouzskou firmou Porcher Sport. [20][21][22] Tato tkanina je vyrobena z vysoce pevnostních polyamidových vláken, jedná se o polyamid 6.6.

1.3.1. Výroba tkaniny

Při výrobě padákové tkaniny nejprve nitě prochází pryskyřičnou lázní, jejímž účelem je chránit vlákna během tkaní. Na osnovní vál se navíjí okolo 10 000 nití, používají se tryskové tkací stroje. [20] Pro padákové tkaniny se používá speciální plátňová vazba Ripstop, která je typická svou mřížkovitou strukturou, jinak nazývanou také jako „protizátrhová mřížka“ (obr. 17.). Charakteristikou této vazby je zesílení nití po určitém úseku (obvykle 5-8mm) jednoduchých nití, které se jak po osnově, tak po útku pravidelně opakuje. Zesílení je prováděno buď zdvojením (jedné nebo více) jednoduchých nití, nebo použitím silnější nitě. [22]



Obr. 17: Struktura padákové tkaniny [23]

Váły s navinutou hotovou tkaninou putují do autoklávu, zde se tkanina za vysokého tlaku zbavuje ochranné vrstvy. Dále se provádí termofixace, řízeným ohřátím se dosahuje rozměrové stability. Dalším možným krokem je barvení textilie. Zásadním krokem při výrobě tkaniny pro padákové Pro dosažení požadovaných vlastností padákové tkaniny jsou prováděny speciální povrchové úpravy. Pro padákové tkaniny určené pro výrobu např. paraglidingových kluzáku se používá hladicí úprava pomocí speciálního (převážně PUR) zátěru. [6], který má zásadní vliv na snížení prodyšnosti tkaniny a na výkon padáků (lepší klouzavost). Pro záchranné padáky se místo tohoto povlaku provádí pouze kalandrovací úprava, i ta má výrazný vliv na výslednou prodyšnost tkaniny. Finálním krokem je kontrola kvality, detekce chyb a jejich případná oprava. [20]

1.3.2. Požadované vlastnosti padákových tkanin

Mezi základní vlastnosti padákových tkanin patří nízká plošná hmotnost (která se pohybuje okolo 27-45 g/m²) [21], a pevnost (dána použitým materiálem a vazbou). S pevností tkaniny úzce souvisí také její tažnost (pružnost). Tkanina je při rychlém otevření padáků nárazově namáhána, její pružnost zajistí rovnoměrnější a plynulejší rozložení tohoto nárazového zatížení. Pokud by tkanina nevykazovala žádnou pružnost, byla by mnohem více náchylná k poškození – roztržení či deformaci. [6] [11]

Velmi diskutovanou vlastností padáků je prodyšnost, resp. porozita, která má určitý vliv na výsledné letové vlastnosti a výkon padáku. Obecně je žádoucí porozita co nejnižší, nicméně dle [25] není nutné používat materiál zcela neprodyšný. Na výsledné vztahové síly, vznikající při nafouknutí padáku má vliv nejenom prodyšnost tkaniny, ale především také konstrukce a geometrie padáku. Co se týká prodyšnosti, je důležitá její stejnoměrnost. [19]

Na stejnoměrnosti (resp. nestejnoměrnosti) mechanických a geometrických vlastností tkanin má vliv použitý materiál (jeho výroba) v osnovních a útkových nitích, izotropní uspořádání vlákenné hmoty a také způsob provázání nití (vazba). Ve vazbě se většinou vyskytují opakující vzory, které mohou způsobovat „periodické kolísání drsnosti povrchu“. [26]. Při letu vzniká tření mezi materiály navzájem (při startu) a především tření mezi materiálem a vzduchem, povrchové drsnost tkanin tedy ve výsledku souvisí s *klouzavostí* padáku [11]

Další důležitou vlastností je odolnost neboli schopnost padáku udržet si své mechanicko-fyzikální vlastnosti v čase. Při používání křídla dochází k mechanickému opotřebení. Při startu a přistání dochází ke kontaktu vrchlíku se zemí a odírání křídla. Zvláště nevhodný je pád nafouknutého křídla náběžnou hranou do země, tedy k tlakovému rázu, při kterém může dojít k poškození tkaniny nejenom na povrchu, ale i u vnitřních žebër. Dalším faktorem opotřebení je působení UV záření. Pro létání je velmi důležitá termika, vrchlík je tak po celou dobu používání vystaven slunečnímu záření. Rezistence proti UV záření je u materiálu závislá i na použitém odstínu barvy. [6] [24]

Důležité pro zachování dobrých vlastností padáku je také jeho skladování a způsob jeho balení a ukládání do obalu. Způsobů balení je více, ovšem vždy dochází k ohýbání padáku (tkaniny) na téměř stejných místech, neměli by zde tedy vznikat další zbytečné sklady. Při balení se padák dostává do kontaktu s pískem či kousky rostlin a dalšími abrazivními látkami, které mohou tkaninu poškodit, je dobré se tomuto kontaktu pokud možno vyvarovat. Padák by měl být zabalen vždy v suchém stavu.

Zabalením mokrého či vlhkého padáku do vaku může dojít k jeho zapaření a následující destrukci tkaniny. [6]

1.4. Materiály používané pro výrobu padákových tkanin

Jako materiál pro výrobu padáků se prvopočátcích používala bavlna. Tu následně vystřídalo přírodní hedvábí, které je tenké, lehké, silné a pružné a pro výrobu padákových tkanin se jeví jako vhodnější. Výsadní vlastností hedvábí, mezi přírodními vlákny, je jeho „nekonečná délka“ (pohybující se v rozmezí 1-2,5km), díky čemuž se hedvábná vlákna často uplatňují i při výrobě technických textilií. [27] [28].

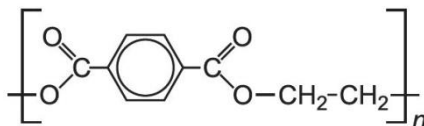
V České republice se pro výrobu padákových tkanin používalo také nylonové vlákno Chemlon (které vzniklo v 70. letech 20. stol. ve Zlínské firmě Baťa), ze kterého se v Chornickém závodě vyráběla tkanina „Uparnis“. Tato tkanina byla sice velmi odolná, ale pro výrobu padáků se začala jevit jako příliš těžká. [6][28]

Vlastnosti padákových tkanin jsou ovlivňovány řadou faktorů a vlákno je jedním ze základních parametrů, které má vliv na výsledné vlastnosti tkaniny. Při výběru vláken se sledují především jejich mechanické a tepelné vlastnosti, ale důležité jsou také jejich geometrické vlastnosti. Pro výroby padákových tkanin se postupně začala hledat vlákna jemnější, s nízkou měrnou hmotností, s vysokou pevností a také vlákna s dobrou tepelnou odolností. Oproti přírodním vláknům jsou v tomto ohledu vhodnější vlákna syntetická, která lze modifikovat, zejména změnou podmínek jejich přípravy. Pro výrobu padákových tkanin se dnes používají převážně vysoce pevnostní multifilová vlákna z polyamidu 6.6, případně multifily z polyesterových vláken.

1.4.1. Polyesterová vlákna

Polyestery tvoří velkou skupinu polymerů, vyznačujících se přítomností esterových vazeb v hlavním makromolekulárním řetězci. Dělíme je na dvě skupiny – termoplastické a lineární. [29] První patenty na PES vlákna pocházejí z roku 1941 od Whinfelda a Dicksona a jejich spotřeba tvoří největší podíl (47,5%) v celosvětové spotřebě vláken. Polyesterová vlákna jsou charakteristická svým vysokým hmotnostním podílem (85%) esterů aromatických kyselin, a to zejména kyseliny tereftalové. PES vlákna řadíme do skupiny bezdusíkatých, jejich typickou skupinou je -CO-O-. Snadno se modifikují a tvarují, je možné měnit jejich vlastnosti, jako je elasticita, sráživost, barvitelnost apod. [27]

Nejvýznamnějším představitelem skupiny termoplastických polyesterů je PET (PETP) - Polyethylénglykoltereftalát, vzniká jako produkt kyseliny tereftalové a etylénglykolu. Jeho strukturu je zobrazena na (obr. 18).



Obr. 18: Strukturní vzorek PET [29]

Polyethylentereftalátové vlákno se vyrábí z taveniny. PET vlákna mají nízký koeficient tření ($\mu=0,174$), díky kterému jsou dobrým izolantem, ale zároveň silně náchylná k tvorbě elektrostatického náboje. [27] Vybrané mechanické a tepelné vlastnosti PET vláken jsou uvedeny v tabulce 1.

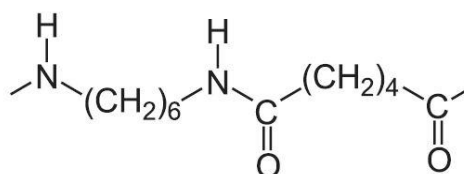
Tabulka 1: Vlastnosti PET vláken [27]

Vlastnost	Hodnota
Pevnost [cN/dtex]	3,8 – 7,2
Tažnost [%]	50 – 70
Modul pružnosti [cN/tex]	1300
Navlhavost [%]	0,3 – 0,4
Teplota měkknutí [°C]	230
Teplota tání [°C]	258
Teplota beze změny stavu [°C]	120-130

1.4.2. Polyamidová vlákna

Polyamidová vlákna řadíme do skupiny vláken chemických ze syntetických polymerů. Standardním způsobem přípravy syntetických vláken je polykondenzace. Polyamidy, značené jako PA (nebo PAD) řadíme do skupiny dusíkatých sloučenin, jejich typickou skupinou je $-\text{CO}-\text{NH}-$. [27]

Dnes je nejrozšířenějším typem polyamidu polyamid 6.6 (dále už jen PAD 6.6), známý také pod obchodním názvem Nylon. Byl patentován v r. 1935 W. Carothersem (firmou DuPont) a v r. 1971 byl připraven první polymer s kapalnými krystaly – polyamid ve formě vlákna. [29] PAD 6.6 je polykondenzačním produktem kyseliny adipové a hexametyléndiaminu, jeho strukturní vzorec je zobrazen na (obr.19). [27] V tabulce 2 jsou uvedeny jeho vybrané mechanické a tepelné vlastnosti.



Obr. 19: Strukturní vzorek PAD 6.6 [29]

Tabulka 2: Základní charakteristiky PAD 6.6 [27]

Vlastnost	Hodnota
Pevnost za sucha [cN/dtex]	3,6 – 4,1
Tažnost za sucha [%]	18 – 25
Modul pružnosti [MPa]	1700
Navlhavost [%]	3,8
Teplota měkknutí [°C]	235
Teplota tání [°C]	250 - 260
Teplotní odolnost [°C] - krátkodobě	170 – 200

V tabulce 3. je uvedeno souhrnné srovnání dříve a v současnosti používaných vláken pro výrobu padákových tkanin.

Tabulka 3: Srovnání mechanických a tepelných vlastností vybraných materiálů [27]

Vlastnost	Bavlna	Hedvábí	PA 6	PA 6.6	PES
Měrná hmotnost [kg/m ³]	1530	1340	1140	1140	1380
Pevnost za sucha [cN/dtex]	3-4,9	3,3-4,5	4-5	4-5	3,7-4,5
Pevnost za mokra [%] *	100-110	80	85-90	80-90	100
Pevnost ve smyčce [%] *	70	85-90	75-85	75-85	80
Pevnost v uzlu [%] *	91	88	80	80	80-85
Tažnost za sucha [%]	3-10	13-25	24-32	25-40	45-73
Tažnost zamokra [%]	11	25-30	28-37	30-50	50-70
Modul pružnosti [cN/dtex]	42-82	63	10-50	10-50	90-100
Koeficient tření [-]	0,45	0,26	0,16	0,16	0,58
Navlahavost při 65% RH [%]	8,5	10	4,5	4,1	0,5
Smáčecí teplo [J/g]	11	70	30	31	5,6
Tep. vodivost [mWm ⁻¹ K ⁻¹] **	71	50	240	250	140

* z pevnosti za sucha

** spleť vláken se stejnou hustotou uspořádání (vzduch 20 a voda 600 mWm⁻¹K⁻¹)

Přírodní vlákna se oproti polyamidovým a polyesterovým vláknům liší především v nižší tažnosti, vyšší navlhavosti a nižší tepelné vodivosti. Polyamidová vlákna se vyznačují především nízkou měrnou hmotností a vysokou tepelnou vodivostí. Polyesterová vlákna mají měrnou hmotnost srovnatelnou s přírodním hedvábím, oproti polyamidovým vláknům se polyesterová vlákna vyznačují mnohem nižší navlhavostí, rychleji schnou, mají větší stálost na světle a dobře odolává dlouhodobému zahřívání (i na vzduchu). Polyesterová vlákna je navíc možné barvit přímo jako surovinu, mají tedy také dobrou stálobarevnost. [27]

Polymery se obecně oproti jiným látkám vyznačují vyšší odolností proti korozi (degradaci), která může vést k znehodnocení výrobku. Při vystavení podmínkám přírodního prostředí jsou vlákna vystavena degradačním faktorům, jako je například působení kyslíku, ozonu, světelného a ionizačního záření a mikroorganismů. Na degradaci polymerů mají vliv také povětrnostní vlivy, jako je střídání teplot, déšť, vlhkost apod. Působením těchto faktorů se materiál postupně poškozuje a toto poškození v čase označujeme jako stárnutí. V tabulce 4 je uvedena odolnost zkoumaných polymerů vůči několika faktorům. [29]

Tabulka 4: Porovnání odolnosti PET a PAD vůči různým vlivům [29]

Odolnost	Polyethyltereftalát	Polyamidy
Stupeň odolnosti vůči povětrnosti *	2	3
Stupeň odolnosti vůči kyslíku (30°C) *	2,5	3
Stupeň odolnosti vůči biolog. činitelům *	1	1 - 3
Stupeň odolnosti vůči vodě *	1	2
Mezní teplota dlouhodobé použitelnosti [°C]	75	80 - 120
Vln. délka vyvolávající největší degradaci **	315, (325)	250 - 310

* 1 – velká, 2 – střední, 3 – malá, 4 – žádná

** přibližná hodnota vlnové délky světelného záření vyvolávající největší degradaci

V tabulce 5 je uveden příklad parametrů polyamidového multifilu od firmy Nilit [31] používaného pro výrobu padákové tkaniny. Počet vláken používaných multifilů se pohybuje okolo 10 - 16 s jemností okolo 20 – 40 den (22,2 – 44,4 dtex)[30].

Tabulka 5: Nylon 66 FDY BRIGHT, Dtex 33/14, lot 43193 (H.T)

Vlastnosti multifilu	Průměrná hodnota	Tolerance
Jemnost [dtex/Denier]	35,0/31,5	0,8/0,72
Počet vláken	14	-
Tvar příčného řezu	kruhový	-
Lesk	jasný	
Tažnost [cN/Denier]/[cN/tex]	6,4/58	0,44/4
Protažení do přetrhu [%]	26	5
Srážlivost ve vařící vodě [%]	8,5	-
Obsah oleje [%]	0,85	0,15

1.5. Struktura a vlastnosti multifilu

Základní surovinou pro výrobu plošných textilií, v tomto případě tkanin, jsou délkové textilie neboli vlákna. V případě padákových tkanin se pro jejich výrobu používají svazky velmi jemných dílčích (jednoduchých) vláken, tyto svazky se souhrnně nazývají multifilová vlákna (příp. multifily). Základními geometrickými parametry vláken je jejich jemnost, průměr a tvar příčného řezu. U multifilů se sleduje uspořádání dílčích vláken, celkový tvar příčného řezu, a také zaplnění. [33]

1.4.1. Jemnost

Jednou ze základních charakteristik vláken je jejich jemnost t . Vyjadřuje se měrnou lineární hmotností, obecně udává poměr mezi hmotností vlákna m [g] a délkou vlákna l [km]. Jeho typickou jednotkou v textilní praxi je tex, případně jeho násobky (pro multifilová vlákna je to obvykle dtex, nebo denier). Jemnost je kromě geometrických vlastností vlákna závislá také na jejich měrné hmotnosti (hustotě). Jako vhodnější se může někdy jevit jemnost posuzovat pomocí součinu plochy příčného řezu vlákna s a jeho hustoty ρ . [32], platí tedy

$$t = m / l = s\rho \quad (1)$$

Pokud je uvažováno vlákno s kruhovým průřezem o ploše $s = \pi d^2 / 4$, platí pro jemnost z předchozího vztahu

$$t = (\pi d^2 \rho) / 4 \quad (2)$$

Multifil má jemnost T a obsahuje n vláken. Za předpokladu, že vlákna jsou v multifilu uspořádaná rovnoběžně, můžeme jeho jemnost zjistit součinem počtu vláken a jejich jemnosti, nebo také součinem sumární plochy všech vláken a jejich hustoty. [35] Platí tedy

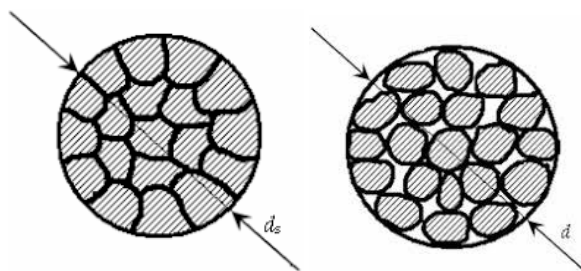
$$T = tn = \sum s\rho \quad (3)$$

1.4.2. Průměr

Pro průměr příze není dána jednoznačná definice, jelikož příze ve skutečnosti není homogenním válcem. Pro určení průměru příze je obecně vycházeno ze zjednodušeného předpokladu kruhového průřezu, ze kterého je možné vyjádřit teoreticky minimální (limitní) průměr příze, označovaný jako substanční průměr d_s [32], dle vztahu

$$d_s = \sqrt{4s/\pi} = \sqrt{4t/\pi\rho} \quad (4)$$

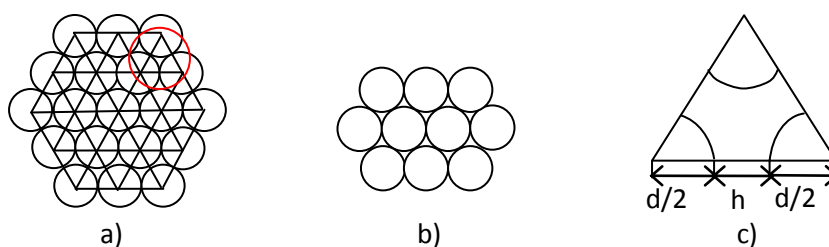
Pro skutečný průměr příze d a substanční průměr příze d_s obecně platí $d > d_s$. [32] Rozdíl mezi idealizovaným substančním průměrem d_s a reálným průměrem d je znázorněn na (obr. 20).



Obr. 20: Substanční a reálný průměr vlákna [34]

U multifilových vláken je předpokladem, že vytvářejí tzv. plástvovou strukturu definovanou Neckářem [c] viz (obr. 21a), jedná se o nejtěsnější uspořádání vláken. Tato struktura je tvořena jednotlivými radiálními vrstvami, kde první vrstva je tvořena vláknem, jímž prochází středová osa multifilu. Další vrstvy okolo osového vlákna vytváří tvar opsaného šestiúhelníku. Osy vláken prochází vrcholy této pravidelné šestiúhelníkové sítě. [32][33]

Na (obr. 21a) je zobrazena uzavřená plástvová struktura multifilu o 19 vlákních a 3 radiálních vrstvách, první radiální vrstva obsahuje pouze jediné (středové) vlákno. [32] Na (obr. 21b) je zobrazena plástvová struktura multifilu o 10 vlákních a 3 radiálních vrstvách. Ve 3. radiální vrstvě jsou pouze 3 vlákna, jedná se tedy o otevřenou plástvovou strukturu. Na (obr. 21c) je zobrazen trojúhelník, který je základním strukturálním elementem šestiúhelníkové sítě. Při těsném uspořádání vláken je h rovno nule. [32]



Obr. 21: Plástvová struktura multifilu

Vztah mezi maximálním počtem vláken n a počtem radiálních vrstev i ($i=2,3,..$) je dle [32] vyjádřeno

$$n = 3i^2 - 3i + 1 \quad (5)$$

Počet radiálních vrstev lze tedy odvodit vzorcem

$$i = 0,5 + \sqrt{n/3 - 1/12} \quad (6)$$

Pro zjištění počtu vláken v i -té radiální vrstvě potom platí vztah

$$m = 6(i - 1) \quad (7)$$

Průměr multifilu D lze určit z plástvové struktury jako průměr kruhu D_n , který má stejnou plochu jako je plocha opsaného šestiúhelníku [32], je tedy vyjádřen

$$D_n = 2d \left[\sqrt{n/3 - 1/12} - 0,5 + 1/(2 \cos 30^\circ) \right] \sqrt{3 \cos 30^\circ / \pi} \quad (8)$$

Z obr. (19g, 20a) je zřejmé, že multifil není homogenním válcem a jeho průřez není dokonale zaplněný objemem vláken, jsou zde vzduchové mezery. [34] Proto byl pro průměr multifilu D o jemnosti T zaveden vztah

$$D_T = \sqrt{4T / (\pi \mu \rho)} \quad (9)$$

kde μ je zde zaplnění multifilu.

1.4.3. Zaplnění multifilu

Zaplnění μ je veličina vyjadřovaná podílem celkového prostoru vláknenného útvaru zplněného vlákny k volnému prostoru vznikajícímu mezi vlákny. [32] Tento podíl hmoty a volného prostoru je vidět na obr. 18. Dle Neckáře [33] může být zaplnění vyjádřeno z různých parametrů příze. Pro objemovou interpretaci zaplnění, vyjadřovanou na základě znalosti objemu vláken celkového objemu příze platí

$$\mu_v = V_{vl} / V_p \quad (10)$$

kde μ_v je objemové zaplnění [-], V_v je objem vláken [m^3], V_c je celkový objem příze [m^3]. Pro hmotnostní interpretaci zaplnění, vyjadřovanou na základě znalosti měrné hmotnosti příze, pro kterou platí $\rho_p = m_p / V_p$ a měrné hmotnosti vláken $\rho_{vl} = m_{vl} / V_{vl}$, platí

$$\mu_\rho = \frac{V_{vl}}{V_p} = \frac{V_c \rho_p / \rho_{vl}}{V_c} = \frac{\rho_p}{\rho_{vl}} \quad (11)$$

kde μ_ρ je hustotní zaplnění [-], ρ_{vl} je měrná hmotnost vláken [kg/m^3] a ρ_{vl} je měrná hmotnost příze [kg/m^3]. Pro plošnou interpretaci zaplnění, vyjadřovanou ze znalosti plochy řezu vláken a celkové plochy řezu příze platí

$$\mu_s = S_{vl} / S_p \quad (12)$$

kde μ_s je plošné zaplnění [-], S_{vl} je souhrnná plocha řezů všech vláken [m^2] a S_p je celková plocha příze [m^2].

Neckář [32][33] se dále zabýval také vyjádřením plošného zaplnění tzv. plástvové struktury nitě. Tvar této struktury je zde popsán pomocí šestiúhelníku, jehož základní jednotkou je rovnostranný trojúhelník (obr. 21c). Pro plochu tohoto trojúhelníku S_c platí

$$S_c = (d + h) * (d + h) \cos 30^\circ / 2 = (d + h)^2 \sqrt{3} / 4 \quad (13)$$

Kde d je průměr vláken obsažených v trojúhelníku a h je vzdálenost jednotlivých vláken od sebe. Dále byla odvozena plocha S tří částí kruhů (vláken), obsaženými v jednom trojúhelníku, které dohromady tvoří plochu poloviny kruhu o průměru d [32] a platí pro ni

$$S = (\pi d^2) / 8 \quad (14)$$

Zaplnění μ plástvové struktury vychází z poměru ploch trojúhelníku S a S_c a [32] platí

$$\mu = S / S_c = \pi d^2 / 8 \left(4 / (d + h)^2 \sqrt{3} \right) = \pi / 2 \sqrt{3} \left(1 / \left(1 + \frac{h}{d} \right)^2 \right) \quad (15)$$

Pokud se vlákna ve struktuře dotýkají, jedná se o strukturu limitní se vzdáleností $h=0$ (idealizovaná struktura). [32], pro zaplnění této limitní struktury platí

$$\mu = \mu_{\text{lim}} = \pi / 2 \sqrt{3} \cong 0,907 \quad (16)$$

Pro pevnou kompaktní strukturu s omezeným individuálním pohybem vláken je $h < d/2$ a pro zaplnění zde platí

$$\mu > \left(\pi / 2 \sqrt{3} \right) \left(1 / \left(1 + \frac{d/2}{d} \right)^2 \right) \cong 0,403 \quad (17)$$

Pro volnou strukturu je vzdálenost $h > d$ a její zaplnění je vyjádřeno vztahem

$$\mu = \pi / 2 \sqrt{3} \left(1 / \left(1 + \frac{d}{d} \right)^2 \right) = \pi / 2 \sqrt{3} \left(1 / (1 + 1)^2 \right) \cong 0,227 \quad (18)$$

1.5. Struktura a vlastnosti multifilových tkanin

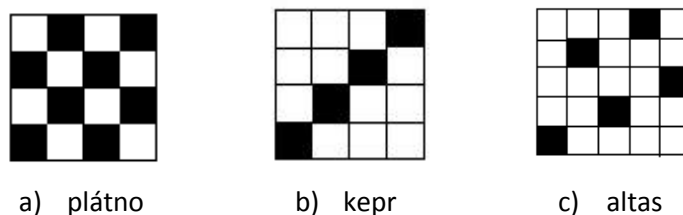
Strukturu tkanin lze popsat řadou charakteristik, jako je jemnost a konstrukce použitých přízí, vazba a vazná vlna, dostava osnovních a útkových nití, tloušťka, porozita. Souhrn těchto parametrů společně s finálními úpravami má vliv na výsledný vzhled a vlastnosti tkaniny. Geometrickým popisem struktury tkaniny je možné sledovat závislost mezi těmito parametry a následně vyhodnotit jejich vliv na výsledné vlastnosti tkaniny.

1.5.1. Vazba

Tkaniny obecně vznikají provázáním nejméně dvou soustav vzájemně kolmých nití, kdy nitě v podélném směru jsou označeny jako osnova a nitě v příčném směru jako útek. Způsob vzájemného provázání těchto nití se nazývá jako vazba tkaniny a každé překřížení osnovní a útkové nitě jako vazní bod. Nitě mohou být vzájemně ve dvou polohách, pokud je osnovní nit nad útkovou, jedná se o osnovní vazní bod, v opačném případě se jedná o útkový vazní bod. [36][37]

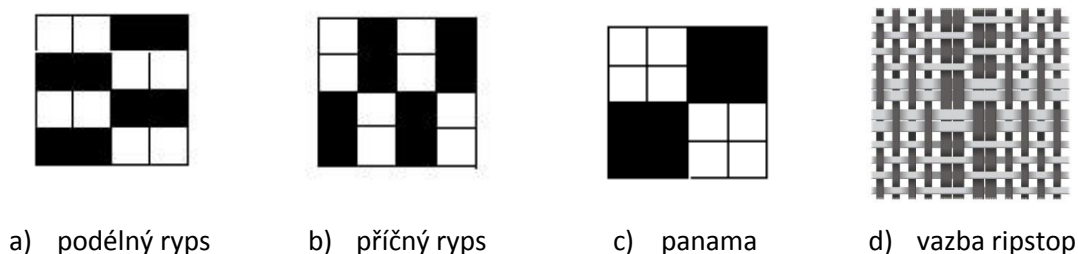
Vazeb existuje mnoho druhů, k těm nejzákladnějším patří vazba plátňová (obr. 22a), kepr (obr. 22b) a atlasová (obr. 22c). Plátno je vazbou nejjednodušší, střídou zde tvoří pouze dvě nitě a střídou lze zapsat poměrem $\frac{1}{1}$. Jedná se o vazbu s nejhustěji provázanými nitěmi a obvykle s vysokým zaplněním.

[36][37]



Obr. 22: Základní vazby [36]

Pomocí základních vazeb jsou dále odvozovány vazby složitější. Na (obr. 23) je znázorněna odvozená plátňová vazba ryps, která vzniká zatknutím dvou nebo více stejně provazujících nití. Charakteristikou této vazby jsou podélné (obr. 23a) nebo příčné (obr. 23b) vroubky. Na (obr. 23c) je zobrazena odvozená plátňová vazba panama. [36] Na (obr. 23d) je modelově znázorněna vazba ripstop, využívaná u padákových tkanin.



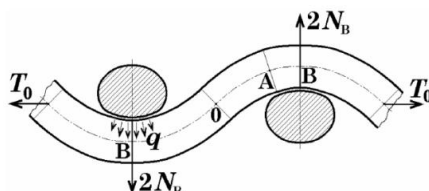
Obr. 23: Odvozená plátňová vazba – Ryps a speciální vazba ripstop [36] [38]

Provázání vazby ripstop vychází z plátňové vazby, kdy jsou po určitém úseku střídavě provazující nitě provázány místo jedné nitě dvě. Zápis střídavy vazby ripstop bude v této práci ve tvaru součtu jednoduchých a zdvojených nití (např. vazba o 14 jednoduchých nitích a 2 zdvojených nitích bude zapsána ve tvaru 14+2*2). Někdy bývá pro zesílená místa místo zdvojení nití použit silnější multifil, potom se jedná čistě o plátňovou vazbu.

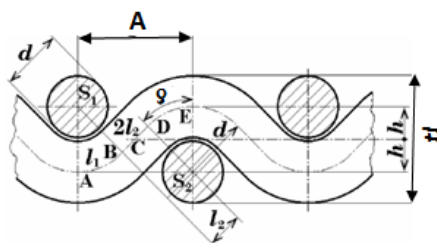
1.5.2. Vazná vlna

Charakteristikou prostorové geometrické struktury tkaniny je vazná vlna, popisující základní element tkaniny vazní bod. Její tvar lze sledovat pomocí řezu tkaninou. Na geometrie provázání nití má vliv na několik parametrů, jako je použitá vazba, dostava nití a napětí nití. Výsledná geometrie potom

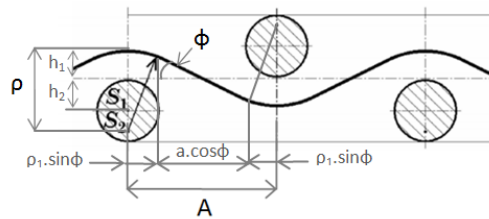
Olofssonův model popisuje vaznou vlnu ve tvaru tzv. elastiky (obr. 24), tj. „ohybové čáry vetknutého nosníku zatíženého osamělou výslednicí osových a normálových sil na hranici vazného bodu“.[41]



Nejčastěji používaným je klasický Peircův model (obr. 25), nazývaný také jako model oblouk – úsečka (oblouk – přímka), který vychází ze zjednodušeného předpokladu vyrovnané tkaniny s kruhovým průřezem nití bez jeho deformace. Šířka a i výška b zde tedy odpovídají průměru kruhu d a vazná vlna je modelována pomocí dvou kruhových oblouků spojených úsečkou. Se zavedením těchto předpokladů potom pro tkaninu plátnové vazby odpovídá její tloušťka t a také rozteč mezi nitěmi A dvěma průměrům vlákna. K tomuto modelu existují určité výhrady také z mechanického hlediska, a to vzhledem ke „skokové změně křivosti osy nitě“. Model popisuje geometrii vazné vlny z „dokonale ohebné nitě“, což neodpovídá běžné realitě. [39] [40]



Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma modely je jejich názor na ohybovou tuhost nití ve vazném bodě tkaniny. [42] Pro potřeby využití popisu vazné vlny pro statické i dynamické výpočty je doporučován jako výhodnější Peircův model oproti Olofssonovu, jehož použití zejména pro dynamické výpočty je velmi obtížné. [42] Obecným problémem těchto teoretických modelů je jejich platnost vztahující se pouze na plátňovou vazbu. Při matematickém vyjádření řady známých teoretických modelů bylo navíc zjištěno, že vypočítaný úhel provázání neodpovídá reálnému provázání nití. [41] Richterová [40] vzhledem k těmto poznatkům upravuje Peircův model se zavedením korekční veličiny - koeficientu poloměru křivosti oblouku vazné vlny ρ (obr. 26).

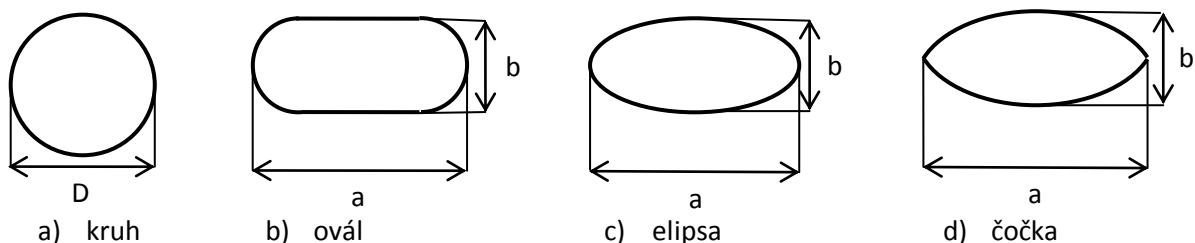


Obr. 26: Korigovaný Peirceův model dle Richterové [40]

Pro popis geometrické struktury tkanin je hlavní snahou najít takový model, který bude natolik obecný a operativní, aby ho bylo možné použít (případně modifikovat) pro různé typy vazeb. Takový model hledala například Sirková [41], která pro vyjádření tvaru vazné vlny používá matematickou aproximaci pomocí Fourirevy řady.

1.5.3. Deformace multifilu ve vazném bodě

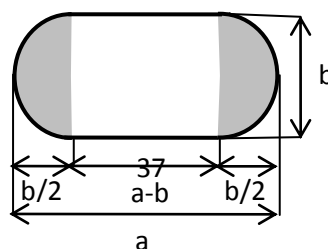
Ve tkanině dochází vlivem provázání osnovních a útkových nití k jejich stlačení, které má za následek jejich příčnou deformaci. Tento jev byl zkoumán např. pomocí experimentu, kdy byla nit stlačována mezi dvěma tuhými rovnoběžnými deskami.[32][45] Vlivem působení vnějšího tlaku a takového napětí, vzniká v těsném okolí nitě radiální napětí působící směrem k vodorovné ose průřezu nitě, čímž dochází ke změně jejich tvaru příčného řezu. Bylo zjištěno, že původní (kruhový) průřez multifilu s průměrem D (obr. 27a), se postupně mění a je možné ho aproximovat pomocí geometrických tvarů, jako je ovál - tzv. Kempův průřez (obr. 27b), elipsa (obr. 27c) nebo čočka (obr. 27d), které lze jednoduše popsat 2 charakteristickými rozměry, šířkou a tloušťkou b . [46] [47]



Obr. 27: Tvar příčného řezu multifilu [46]

Pro popis deformovaného průřezu příže jsou definovány relativní parametry - poměrnou šířku α , poměrnou tloušťku β a zploštění γ , pro které dle [32] platí

$$\alpha = \frac{a}{D}, \quad \beta = \frac{b}{D}, \quad \gamma = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{a}{b}, \quad \text{platí } \lambda \geq 1 \quad (19)$$



Obr. 28: Kempův průřez

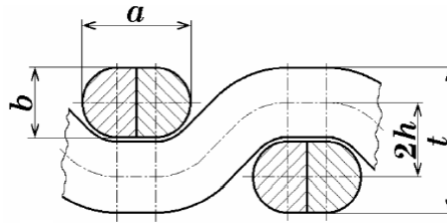
Na (obr. 28) je zobrazena příze zploštěná do Kempova průřezu [48], jehož plochu A lze vyjádřit [32]

$$A = \frac{\pi b^2}{4} + (a - b)b \quad (20)$$

a jeho obvod L

$$L = \pi b + 2(a - b) = D[\beta(\pi - 2) + 2\alpha] \quad (21)$$

Na (obr. 29) je znázorněn řez tkaninou se zploštěnými nitěmi do tvaru Kempova průřezu. Pro tloušťku tkaniny zde platí $t = 2b$.



Obr. 29: Model vazné vlny s Kempovým průřezem vláken [47]

1.5.4. Deformace příze dle Neckáře

K deformaci průřezu příze dochází vlivem jeho stlačení, které je definováno [32],

$$\delta_\beta = \frac{(D - b)}{D} = 1 - \beta \quad (22)$$

kde b je původní výška nedeformovaného průřezu [m] a D je průměr původního kruhového průřezu příze [m] a β je relativní šířka deformovaného průřezu [m]. Relativní rozšíření je potom dáno vztahem

$$2\delta_\alpha = \frac{(a - D)}{D} = \alpha - 1 \quad (23)$$

kde a je šířka deformovaného průřezu příze [m].

Dle Neckáře [32] jsou pro vyjádření zploštění příze ve tkanině používány 2 alternativní hypotézy, kdy při zploštění zůstává zachována plocha nebo obvod příze. První hypotéza předpokládá, že při

zploštění příze se plocha příčného řezu výrazně nezmění, platí tedy $A = \frac{\pi D^2}{4}$ a vztah mezi relativní šířkou α a relativní tloušťkou β lze vyjádřit

$$\alpha = \frac{[\pi/4 - \beta^2(\pi/4 - 1)]}{\beta} \quad (24)$$

Druhá hypotéza uvažuje zachování obvodu řezu příze, kdy $L = \pi D$, pro tuto hypotézu platí vztah

$$\alpha = \frac{[\pi - \beta(\pi - 2)]}{2} \quad (25)$$

1.5.5. Dostava tkanin

Dostava osnovy a útku je obecně dána počtem nití jedné soustavy (osnovy nebo útku) na délku, resp. šířku druhé soustavy nití, obvykle na 1 nebo 10cm [49], obecně tedy platí

$$Do = n_o / l_u, \quad Du = n_u / l_o \quad (26)$$

Kde Do (Du) je dostava osnovy (útku), n_o je počet osnovních nití, n_u je počet útkových nití na měřenou délku a l_u je měřená délka ve směru útku, l_o je měřená délka ve směru osnovy.

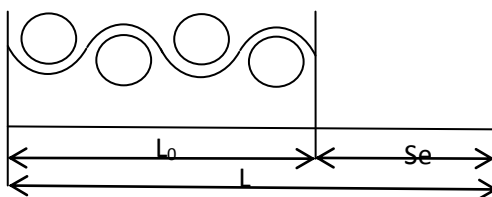
Dostava zjišťována většinou experimentálně. Z hotové tkaniny jsou vypárány nitě na délku 1 (nebo 10) cm a spočítány. Dalším způsobem, vhodným i pro tkaniny s velmi jemnými nitěmi, je pořízení mikroskopických snímků, pomocí nichž je následně spočítán počet nití na určitou délku. [36]

1.5.6. Setkání

Vlivem provázání osnovních a útkových nití ve tkanině dochází k jejich částečnému zkrácení. Toto zkrácení je vyjadřováno pomocí součinitele setkání Se . Jedná se o relativní veličinu udávanou jako bezrozměrné číslo nebo v procentech a je dáno poměrem mezi skutečnou délkou nitě a délkou nitě zatkané [51], platí tedy

$$s_e = 100(L - L_0) / L_0 = 100\Delta L / L_0 [\%] \quad (27)$$

Součinitel setkání se nejčastěji zjišťuje experimentálně. Z hotové tkaniny určité šíře l_o se odpáře nit z celé šíře a zjistí se její původní délka l , viz (obr. 25). Pro vyšší přesnost se provádí měření alespoň 10 nití a z naměřených hodnot se spočítá jejich průměr. [36]



Teoreticky je součinitele setkání možné předpovídat z jeho „ideové konstrukce“, tedy ze znalosti parametrů geometrie vazních bodů. Znalost toho parametru je využitelná v praxi například pro odhad spotřeby nití na výrobu nové tkaniny. [36] [51]

1.5.7. Plošná hmotnost a hustota tkanin

Plošná hmotnost je vlastnost textilií, která může být vzhledem k účelu jejich velmi důležitým parametrem. Zjišťována je většinou experimentálně a uváděna je hmotnost 1 m² textilie, tedy poměr hmotnosti m a plochy S [49]. Plošnou měrnou hmotnost lze vyjádřit dle

$$\rho_s = m / S \quad (28)$$

kde ρ_s je plošná měrná hmotnost textilie [g/m²], m je hmotnost měřené plochy S textilie [g] a S je plocha měřené textilie [m²]. Z podílu plošné měrné hmotnosti a tloušťky textilie, nebo také podílu hmotnosti m a objemu plošné textilie V je dán vztah pro objemovou měrnou hmotnost ρ_v (hustotu) [49], platí

$$\rho_v = m / V = m / (S \cdot tl) = \rho_s / tl \quad (29)$$

kde ρ_v je objemová měrná hmotnost textilie (hustota) [kg/m³], V je objem plošné textilie [m³] a tl je tloušťka textilie [mm]. [49]

Plošnou hmotnost tkaniny G [g/m²] jednoho metru čtverečního, lze ze znalosti jemnosti přízí T [tex], dostavy osnovních D_o a útkových nití D_u [nití/1m] a setkání osnovy a útku s_o , s_u [-] vyjádřit také teoreticky [36] dle vztahu

$$G = \frac{T_o D_o (1 + s_o) + T_u D_u (1 + s_u)}{10} \quad (30)$$

1.5.8. Tloušťka plošné textilie

Tloušťka plošné textilie je definována jako kolmá vzdálenost mezi lícem a rubem textilie. Experimentálně je zjišťována pomocí tloušťkoměru za definovaného zatížení měrným tlakem p_m , obvykle 1 kPa. [49] [93]

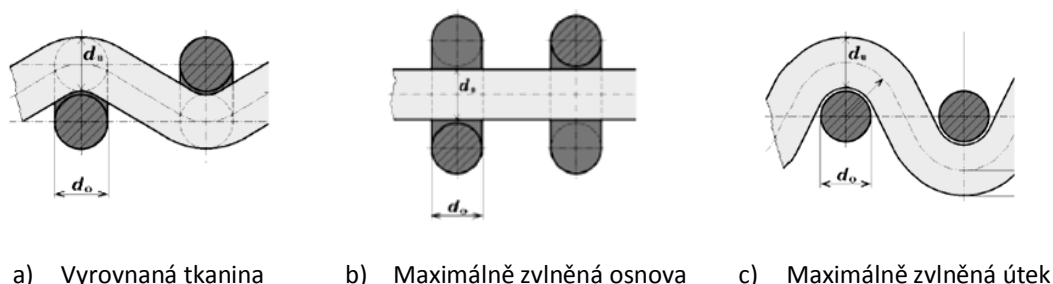
Tloušťka obecně závisí na průměru osnovních a útkových nití a na použité vazbě. Pokud není znám skutečný průměr nití, je ho možné teoreticky odvodit dle vztahu (9). Ze znalosti těchto parametrů lze tloušťku za předpokladu vyrovnané tkaniny (obr. 31a) teoreticky vypočítat dle vztahu [54]

$$tl = d_o + d_u \quad (31)$$

kde tl je tloušťka textilie [m], d_o je průměr osnovních nití [m] a d_u je průměr útkových nití [m]. Dalšími parametry ovlivňujícími tloušťku je dostava osnovních a útkových nití a jejich míra zvlnění vazných bodech. V případě maximálního zvlnění osnovy (obr. 31b) nebo maximálně zvlněného útku (obr. 31c) jsou potom uváděny vztahy [52]

$$tl_o = 2d_o + d_u \quad tl_u = d_o + 2d_u \quad (32)$$

kde tl_o je tloušťka tkaniny při max. zvlnění osnovních nití [m], tl_u je tloušťka textilie při max. zvlnění útkových nití [m].



Obr. 31: Zvlnění nití ve tkanině [50]

Dle Novikova je uváděno [50] devět fází pro míru zvlnění nití ve tkanině. Teoretická hodnota pro zvlnění při maximálně zvlněné osnově (obr. 33b) je $e=1$, pro maximálně zvlněný útek $e=0$ a pro vyrovnanou tkaninu je obvykle používaná hodnota $e=0,5$.

S přijmutím předpokladu o zploštění příze ve vazném bodě, lze pro tloušťku vyrovnané tkaniny psát [53]

$$tl = d_o \alpha + d_u \beta \quad (33)$$

1.5.9. Zakrytí tkaniny

Zakrytí tkaniny je bezrozměrný parametr vyjadřující poměr zakryté plochy nitěmi k její celkové ploše nebo k ploše jejího vazného prvku. [54] Ovlivňují ho různé parametry, jako je druh příze (jeho průměr, chlupatost apod.), typ vazby a dostava osnovních a útkových nití a také zploštění příze ve vazných bodech tkaniny. Vazná buňka je potom vzhledem k těmto parametrům zakrytá určitou částí osnovní a částí útkové nitě. Vztah pro výpočet celkového zakrytí tkaniny vychází ze znalosti průměru a dostavy osnovních a útkových nití a platí [54]

$$Z = D_o d_o + D_u d_u - D_o d_o D_u d_u \quad (34)$$

kde Z je celkové zakrytí tkaniny [-], D_o je dostava osnovních nití [nití/m], D_u je dostava útkových nití [nití/m], d_o je průměr osnovních nití [m] a d_u průměr útkových nití [m].

Za předpokladu zploštění příze ve vazném bodě, lze psát [53]

$$Z = D_o d_o \alpha + D_u d_u \beta - D_o d_o D_u d_u \alpha \beta \quad (35)$$

1.6. Porózita

Porozita je jednou z důležitých geometrických vlastností textilií a je ovlivněna řadou faktorů. Ovlivňuje ji především geometrie textilií - použité příze, její jemnost, průměr a tvar příčného řezu, velký význam tu má také zploštění příze. Dále zaplnění všech textilních útvarů (vlákno, příze, textilie), u tkanin také vazba a dostava osnovních a útkových nití. Porozita je úzce spjatá s prodyšností tkanin.

1.6.1. Obecná definice

Obecnou definicí porozity je poměr vláknenné (textilní) hmoty k prázdnému prostoru v textilii. Je to bezrozměrná veličina nabývající hodnot $<0;1>$ nebo procentuálně $<0;100>$. Porézní strukturu mají nejenom hotové textilie, ale také suroviny, ze kterých jsou vyrobené. U tkanin se mohou póry vyskytovat uvnitř vláken, mezi vlákny uvnitř přízí a mezi provazujícími nitěmi. [33]

Porozitu lze určit dle několika postupů případně predikovat dle různých teoretických modelů. Textilní útvary mají různou strukturu a je tedy obtížné stanovit jeden model, který by byl obecně platný pro všechny typy textilií. Pro různé typy textilií je nutné použít různé přístupy. Přehledné shrnutí těchto přístupů je uvedeno například v práci [55] [56]. Teoretické modely přijímají různé zjednodušující předpoklady, dle kterých nemusí vždy výsledná hodnota dostatečně odpovídat skutečnosti. Většina modelů zanedbává prodyšnost nití a zohledňuje pouze porozitu mezi nitěmi. [35] Blíže je zde popsáno několik vybraných možných přístupů.

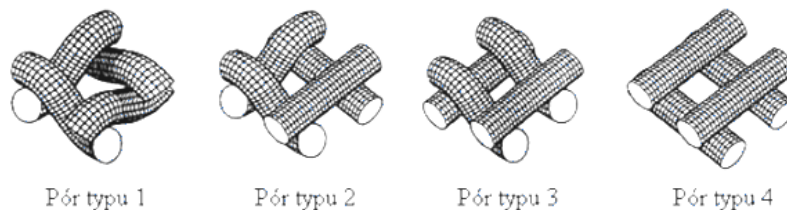
1.6.2. Plošná porozita

Jednoduchým přístupem je klasický 2 – D model, který vychází z kolmé projekce tkaniny do roviny. Porozita je zde vyjadřována jako doplněk k plošnému pokrytí tkaniny Z , které vychází z průměru (d_o, d_u) a dostavy (D_o, D_u) osnovních a útkových nití. Například dle [54] platí

$$\varepsilon_s = 1 - Z = 1 - (d_o D_o + d_u D_u - d_o D_o d_u D_u) \quad (36)$$

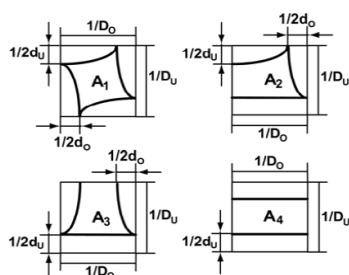
Hodnota porozity zde udává pouze prázdnou plochu, nezaplňenou textilní hmotou. Tento model nedostatečně popisuje tkaninu jako třírozměrný objekt. Navíc uvažuje pouze mezinítné póry a zanedbává různé tvar pórových buněk a jejich rozmístění ve tkanině.

Becker [58], který se zabýval geometrickou strukturou tkanin, modifikuje plošnou interpretaci porozity na 3-dimenzionální geometrii pórů. Jsou uvažovány 4 typy pórových buněk (viz obr. 32) s předpokladem válcového tvaru vláken s kruhovým průřezem. Tvar pórů vychází je ovlivněn vazbou, a jejího počtu zakřížených nití. V jedné vazbě se může vyskytovat i více než jeden typ póru. I v tomto modelu je zanedbána tzv. mikroporozita, tedy porozita mezi vlákny v přízi. [59]



Obr. 32: Beckerovy typy pórových buněk [58],

Zohledněním různých tvarů pórů dle Beckera se ve své práci zabýval Goojier [60], který zde navíc uvažuje šikmý průchod vzduchu mezinitními póry. Pomocí kolmých průmětů řezů pórů do roviny (obr. 33) stanovuje jejich obvod a plochu. [59]



Obr. 33: Kolmý průmět pórů dle Gooijera [60]

Modifikovaný vztah pro výpočet porozity dle Gooira ε_G je dán součtu ploch všech typů pórů obsažených ve střídě vazby k celkové ploše střídě vazby, s obsazením všech typů pórů potom platí

$$\varepsilon_G = \frac{m_1 A_1 + m_2 A_2 + m_3 A_3 + m_4 A_4}{\frac{1}{D_o} n_{so} \frac{1}{D_u} n_{su}} \quad (37)$$

kde $m_{1,2,3,4}$ je počet pórů typu 1, 2, 3 nebo 4 obsažených ve střídě vazby, $A_{1,2,3,4}$ je plocha jednotlivých pórů [m²], n_{so} a n_{su} je počet vazných bodů ve střídě ve směru osnovy a útku.

1.6.3. Objemová interpretace porozity

Porozita je v podstatě opakem zaplnění textilních útvarů, které je dáno podílem objemu vláken k celkovému objemu tkaniny dle [33] tedy platí

$$\mu_{Vt} = \frac{V_{vl}}{V_c} = \frac{(V_c \rho_{tk}) / \rho_{vl}}{V_c} = \frac{\rho_{tk}}{\rho_{vl}} \quad (38)$$

kde μ_{Vt} je zaplnění tkaniny [-], V_{vl} je objem vláken [kg/m³], V_c je celkový objem tkaniny [kg/m³], ρ_{tk} je měrná hmotnost tkaniny, ρ_{vl} je měrná hmotnost vláken.

Objemová a z ní vycházející hmotnostní interpretace porozity je tedy potom dána vztahem [33]

$$\varepsilon_V = 1 - \frac{V_{vl}}{V_c} = 1 - \frac{\rho_{tk}}{\rho_{vl}} \quad (39)$$

kde měrná hmotnost tkaniny ρ_{tk} je dána podílem plošné hmotnosti G [kg/m²] a tloušťky tkaniny t_l [m].

1.6.4. 3-D model porosity dle Havrdové

Tento model je další interpretací objemové porosity. Havrdová [59] zde vychází z Beckerových pórových buněk (obr. 34). Upravuje tvar póru typu 3, který dále rozlišuje na pór 3a a 3b. Z dostavy a průměrů osnovních a útkových nití zde stanovuje celkový objem libovolné pórové buňky V_{cp} [m³] ve tvaru

$$V_{cp} = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} (d_o + d_u) \quad (40)$$

ve kterém je dále obsažen objem části buňky s nezakříženými osnovními V_{zo-} , pro které platí

$$V_{zo-} = \pi d_o^2 / 8 \left(\frac{1}{D_o} - d_o \right) \quad (41)$$

a objem se zakříženými osnovními /útkovými nitěmi V_{z+} , kde figuruje úhel provázání osnovní/útkové nitě σ (viz obr. 35) a platí

$$V_{zo+} = \pi d_o^2 / 8 \frac{\left(\frac{1}{D_o} - d_o \right)}{\cos \sigma} \quad (42)$$

Pór typu 1 je symetrický a vyskytuje se ve vazné buňce s dvěma zakříženými osnovními a dvěma zakříženými útkovými nitěmi. Jeho objem V_1 lze vypočítat dle

$$V_1 = V_c - d_o d_u (d_o + d_u) + 2V_{zo+} + 2V_{zu+} \quad (43)$$

Pór typu 2 je také symetrický a je tvořen vaznou buňkou s jednou zakříženou a jednou nezakříženou osnovní nití a jednou zakříženou a jednou nezakříženou útkovou nití. Jeho objem V_2 lze vypočítat dle

$$V_2 = V_c - d_o d_u (d_o + d_u) + V_{zo+} + V_{zo-} + V_{zu+} + V_{zu-} \quad (44)$$

Pór typu 3_a je nesymetrický a je vytvořen dvěma nezakříženými částmi osnovních nití a dvěma zakříženými částmi útkových nití. Jeho objem V_{3a} lze vypočítat dle

$$V_{3a} = V_c - d_o d_u (d_o + d_u) + 2V_{zo-} + 2V_{zu+} \quad (45)$$

Pór typu 3_b je také nesymetrický a je tvořen dvěma zakříženými částmi osnovních nití a dvěma částmi nezakříženými útkovými nitěmi. Jeho objem V_{3b} lze vypočítat dle

$$V_{3b} = V_c - d_o d_u (d_o + d_u) + 2V_{zo+} + 2V_{zu-} \quad (46)$$

Pór typu 4 je symetrický a je tvořen dvěma zakříženými osnovními nitěmi a dvěma zakříženými útkovými nitěmi. Pro jeho objem V_4 platí

$$V_4 = V_c - d_o d_u (d_o + d_u) + 2V_{zo-} + 2V_{zu-} \quad (47)$$

Výsledná porozita, kterou zde lze vypočítat pro různé typy tkanin je potom dána vztahem [59]

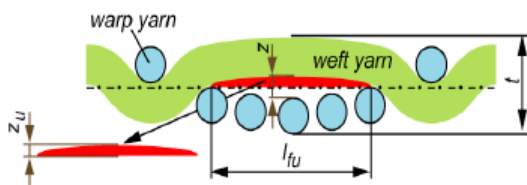
$$\varepsilon_H = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2 + m_{3a} V_{3a} + m_{3b} V_{3b} + m_4 V_4}{V_{oc} n_{so} n_{su}} \quad [-] \quad (48)$$

kde $V_{1,2,4}$ je objem nevyplněný hmotou nitě pro pórovou buňku typu 1,2 nebo 4, $V_{3a, 3b}$ je objem nevyplněný hmotou nitě pro buňku typu 3a nebo 3b, $m_{1,2,4}$ je počet pórů typu 1,2,4, $m_{3a,3b}$ je počet pórů typu 3a, 3b obsažených ve střídě vazby, n_{so} je počet vazných bodů ve střídě vazby ve směru osnovy a n_{su} je počet stříd ve směru útku. V práci Havrdové [59] byla zjištěna nejvyšší korelace tohoto modelu (oproti 2-D modelům) s reálnými hodnotami prodyšnosti tkanin. Jsou zde zavedeny i další zpřesňující parametry.

1.6.5. Další přístupy pro hodnocení porozity

Hodnocením porozity tkanin se zabývaly i dalších práce, například [62][66]., mezi ty novější shrnující dosavadní poznatky o této problematice patří například [55][61][65].

Havlová N. ve své práci [61] rozvíjí například teorii Havlové M. [66] zabývající se deformací textilie vlivem proudícího vzduchu. Vlivem nárůstu proudícího vzduchu zde dochází k nárůstu kromě horizontální také vertikální porozity. Horizontální porozita je obecně zkoumána promítnutím tkaniny do horizontální roviny. Pojem vertikální porozita je myšlen prostor vzniklý mezi delšími neprovázanými úseky nití, tzv. flotážemi, které se vyskytují například u keprové nebo atlasové vazby tkanin. Model vertikální porozity (obr. 32) je zobrazován jako řez promítnutý do vertikální roviny tkaniny, kde je vidět vzniklý úzký prostor mezi pod (nad) flotujícími nitěmi, který je označen jako eliptický pór (obr. 32). [61][66]



Obr. 34: Model vertikálního eliptického póru dle Havlové M. [66]

Porozitou, jako hlavním strukturálním parametrem ovlivňující prodyšnost se zabýval také Militiký a spol. v práci [62]. Je zde diskutována závislost mezi porozitou, která vychází z idealizované geometrie tkanin a skutečnou prodyšností, která je ovlivněna náhodnými strukturálními změnami ve tkanině. Tato závislost je zde vlivem těchto faktorů označena jako ne zcela lineární. Tyto úvahy vedly k nalezení teoretického modelu pro predikci prodyšnosti s využitím neparametrických regresních technik, neuronových sítí. Model vychází z předpokládané povrchové a objemové porozity tkanin.

1.7. Prodyšnost

Prodyšností jako důležitou vlastností tkanin úzce spjatou s jejich strukturou, se zabývala již řada univerzitních prací, například [55] [67] [68] [69] a odborných článků, například [63][70] [74]. Bučková ve své práci [67] hodnotí především vliv změny určitých parametrů tkaniny, jemnosti nití, vazby a dostavy na prodyšnost tkanin. Vlivem zejména různých typů vazeb na prodyšnost tkanin se ve své práci [55] blíže věnuje Marková. Konkrétně multifilovými tkaninami (kterými jsou i padákové tkaniny) se ve své práci zabývala například Novotná [68]. Teoreticky zde popisuje a hodnotí strukturu multifilových tkanin, hodnotí porozitu tkanin pomocí různých postupů a tyto parametry následně porovnává s experimentálně naměřenou prodyšností tkanin. Podobnou tematikou se zabývala také Šafaříková [56]. Na prodyšnost tkanin, zvláště pak u padákových tkanin, mají vliv také finální úpravy, touto problematikou se ve své práci [69] zabývala Blažejovská.

1.7.1. Definice

Prodyšnost neboli propustnost vzduchu z jedné strany textilie na druhou, je důležitou vlastností textilií především vzhledem k účelu jejich použití. Dle normy ČSN EN ISO 9237 [67] je prodyšnost definována jako „rychlost proudění vzduchu procházející kolmo na zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu“. Dle způsobu testování můžeme prodyšnost rozdělit na statickou a dynamickou.

1.7.2. Statická

Při měření statické prodyšnosti je stanovena hodnota prodyšnosti (měřené plochy textilie) až po ustálení tlaku působícího na textilií. Statické hodnocení prodyšnosti neumožňuje sledování změny prodyšnosti v průběhu času, při zvyšování tlakového spádu. Nelze tedy sledovat možné změny ve struktuře textilie. [65] Běžné přístroje pro měření prodyšnosti umožňují hodnocení většinou statické prodyšnosti. Na fakultě textilní TU v Liberci je pro hodnocení prodyšnosti nejběžněji používán automatický měřicí přístroj FX 3300 [72], který umožňuje testování pouze statické prodyšnosti.

1.7.3. Dynamická

Dynamická prodyšnost je relativním parametrem, který je vhodné hodnotit u textilií, na které je v rámci jejich užití vyvíjen vysoký tlak. Jedná se například o airbagy v automobilovém průmyslu nebo také o padákové tkaniny. Metoda hodnocení dynamické prodyšnosti umožňuje sledovat změnu

prodyšnosti v průběhu času za zvyšování tlakového spádu, který je na textilií vyvíjen. Stejně jako statická je i dynamická prodyšnost závislá na struktuře textilií. Vlivem vysokých tlaku, vyvíjených na textilií může dojít ke změnám v její struktuře. Ve tkanině může nastat posuv nití, čímž dochází ke zvětšování mezinitných pórů. U příze (vzhledem k její chlupatosti) může dojít k oddělování krátkých konců a tím k otevírání mezivláknenných pórů [65] [76]

Studiem a hodnocením dynamické prodyšnosti se u nás zabývala například Veselá [65]. V rámci své práce autorka současně vyvíjela nové měřicí zařízení, které je schopno měřit jak statickou, tak dynamickou prodyšnost textilií. Autorka zde studuje a rozvíjí dosavadní poznatky dalších prací věnujících se vlivu struktury textilií na jejich prodyšnost, například [75][79][66] a prací zabývajících se testování dynamické prodyšnosti, například [76][77][78][79].

Xiao [76] ve svém experimentu uvádí zajímavé výsledky, které ukazují, že u méně hustých tkanin je hodnota dynamické prodyšnosti vyšší, naopak u hustých tkanin je dynamická prodyšnost nižší.

1.7.4. Lineární model

Základním popisem pro proudění vzduchu přes porézní textilní materiál je Darcyho zákon, který je definován jako proudění tekutiny nasycenou zónou porézního tělesa. [80][81] Je dán lineárním vztahem

$$v_f = \frac{Q}{A} k l \quad (49)$$

kde v_f je rychlost proudění tekutiny, Q je objemový průtok (filtrem délky L s průřezem A) [m^3/s], A je plocha [m^2], k je zde Darcyho (filtrační) koeficient [m/s] a l je piezometrický gradient (neboli podíl výškového rozdílu mezi hladinou h_1 a h_2 k délce L). Darcyho zákon je platný pro stacionární proudění, není zde tedy závislost na čase [80], lze ho v úpravě vyjádřit také vztahem

$$Q = k A \frac{\Delta p}{t l} \quad (50)$$

kde Δp je rozdíl tlaků [Pa] působících pod a nad plochou A a t/l [m] je tloušťka porézního tělesa.

Jak už bylo řečeno, prodyšnost je vlastnost textilií úzce spjatá s jejich strukturou, proto i teoretické modely zabývající se predikcí prodyšnosti vychází většinou z porozity. Porozitu tkanin ovlivňuje řada faktorů (typ příze, její jemnost a průměr, vazba, dostavou a tloušťka tkaniny a další), proto je nalézt vztah pro predikci prodyšnosti poměrně obtížným úkolem. Ve výpočtech jsou proto zaváděny určité zjednodušující parametry.

1.7.5. Predikce prodyšnosti pomocí lineárního modelu

Pro predikci prodyšnosti se používají různé modely. Základní úvahy vycházejí z Darcyho zákona vztahy ((65)(66)), ze kterého je vyjadřována lineární závislost mezi rychlostí proudění vzduchu (neboli prodyšnosti) a tlakovým rozdílem [80], dle vztahu

$$v_s = k \frac{\Delta p}{tl} \quad (51)$$

kde v_f je rychlost proudění vzduchu [m/s], Δp je rozdíl tlaků [Pa], tl je tloušťka tkaniny [m] a k je filtrační koeficient. Vztah mezi rychlostí proudění v_s [m/s] a porozitou ε [-] v závislosti na relativním tlakovém spádu (který je dán podílem tlaku p a tloušťkou tkaniny tl) vznikne rozšířením lineárního modelu [80]

$$v_s = \frac{k}{\eta} \frac{\Delta p}{tl}, \quad v_s = v_{ef} = \frac{v_f}{\eta} \quad (52)$$

kde je dále vyjádřen koeficient k , který je ve tvaru

$$k = \omega \frac{\varepsilon^3 D_p^2}{(1-\varepsilon)^2} \quad (53)$$

kde η je dynamická viskozita vzduchu (uváděna 1.785×10^{-5} [Pa.s]), ω je přepočecí koeficient a D_p je průměr ekvivalentní kruhové částice [m]. Další možné vyjádření je dle modelu Kozeny – Carman [81] [82]

$$\frac{\Delta p}{tl} = \frac{180\eta}{\phi_s^2 D_p^2} \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} v_s \quad (54)$$

kde ϕ_s je sféricita (kulovitost částic) [-].

1.7.6. Predikce prodyšnosti pomocí kvadratického modelu

Pro popis závislosti prodyšnosti na tlakovém spádu lze použít také kvadratický model dle Erguna [83]

$$f_p = \frac{150}{Gr_p} + 1,75, \quad (55)$$

$$f_p = \frac{\Delta p}{tl} \frac{D_p}{\rho v_s^2} \left(\frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon} \right) \quad Gr_p = \frac{\rho v_s D_p}{(1-\varepsilon)\eta} \quad (56)$$

kde f_p je součinitel tření [-], Gr_p je modifikované Reynoldsovo číslo [-], které slouží k rozlišení laminárního a turbulentního vzduchu. Klasické Reynoldsovo číslo je ve tvaru

$$Re = (v_s D_p) / \eta \quad (57)$$

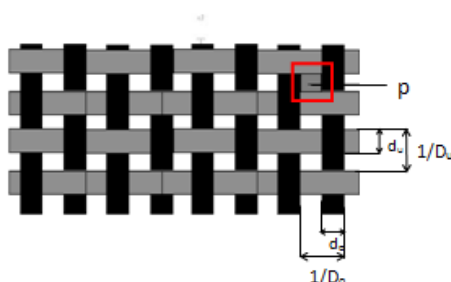
Rozšířená Ergunova rovnice pro výpočet tlakového spádu je potom ve tvaru

$$\Delta p = \frac{150\eta tl}{D_p^2} \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} v_s + \frac{1,75tl\rho}{D_p} \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} v_s |v_s| \quad (58)$$

kde hodnoty 150 a 1,75 jsou stanové koeficienty pro lineární parametr K_1 [m] a kvadratický parametr K_2 [m²]

1.7.7. Predikce prodyšnosti dle Ogulaty

Snaha najít jednoduchý model pro teoretickou predikci prodyšnosti tkanin byla také náplní prací [63][70]. Ogulata ve svých predikčních modelech [63,] vychází z porózy. Konkrétně zde hodnotí tři hlavní parametry – průřez plochy každého póru, hloubku každého póru (nebo tloušťku tkaniny) a počet póru ve tkanině na jednotku plochy tkaniny nebo počet osnovních a útkových nití na jednotku plochy. Tento typ hodnocení Ogulata dále uvažuje při vývoji teoretického přístupu k hodnocení prodyšnosti vzduchu při zkoumání surové (neupravené) textilie. Na obr. (35) je znázorněna porézní struktura tkaniny plátňové vazby, kde p značí pór, d_o a d_u průměr osnovní a útkové nitě a $1/D_o$ a $1/D_u$ rozteč osnovních a útkových nití.



Obr. 35: Porézní struktura tkaniny plátňové vazby [Ogul]

Ogulata ve svém příspěvku odvozuje vztah vyjadřující závislost tlakového rozdílu a prodyšnosti, který je ve tvaru

$$\Delta P = f(h/d_h) \rho_a (U_m^2 / 2) \quad (59)$$

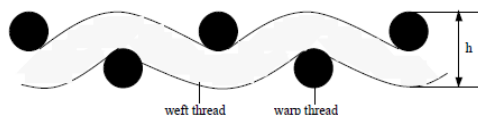
Parametr f zde značí koeficient tření, pro který platí $f = \lambda \text{Re}^{-n}$, kde λ je koeficient laminárního ($\lambda=64$, $n=1$) nebo turbulentního proudění vzduchu ($\lambda=0,3164$, $n=0,25$) a Re je Reynoldsovo číslo, pro které platí

$$\text{Re} = (U_m d_h) / \nu \quad (60)$$

Písmeno h značí tloušťku tkaniny (obr. 36), která závisí na konstrukci tkaniny a platí pro ní $d < h < 2d$, Ogulata zde dále pro plátňovou vazbu uvažuje $h=1,5d$. Parametr d_h značí hydraulický průměr póru a platí pro něj

$$d_h = 4A_c / P, \quad (61)$$

kde A_c značí plochu póru se zakříženou oblast nití ve vazném bodě a P je obvod póru. Parametr ρ_a je zde hustota vzduchu, U_m střední rychlost proudění vzduchu neboli prodyšnost a ν je viskozita vzduchu.



Obr. 36: Vertikální řez tkaninou [Ogul]

Porozita a prodyšnost jsou úzce spjaté vlastnosti textilií a je tedy uvažován předpoklad, že vysoce porézní textilie bude také vykazovat vysokou prodyšnost. [63] Pomocí experimentu je zde ověřeno, že s rostoucí porózitou roste i prodyšnost.

1.7.8. Nestejnoměrnost prodyšnosti v ploše tkaniny

V rámci hodnocení nestejnoměrnosti prodyšnosti zde bude hodnocena tzv. „makronestejnoměrnost“. Nebude zde hodnocena nestejnoměrnost vycházející ze strukturní geometrie celé tkaniny, budou proměřena určitá místa tkaniny s cílem zjistit, jak se mění prodyšnost v určitých sekcích tkanin.

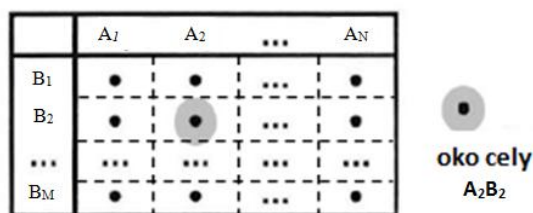
Pro hodnocení nestejnoměrnosti prodyšnosti v ploše mohou být využity různé statistické postupy. [85] Jedním z nich je analýza rozptylu (ANOVA), jejímž předpokladem je normální rozdělení dat. Podstatou analýzy rozptylu je posouzení významnosti možných zdrojů variability, které obsahují složku objasněnou (známý zdroj variability) a neobjasněnou, u níž je předpokladem její náhodnost. Pokud je zkoumán pouze jeden faktor ovlivňující výsledek experimentu, jedná se o jednofaktorovou analýzu rozptylu, pokud jsou určeny dva faktory ovlivňující výsledek, jedná se o dvoufaktorovou analýzu rozptylu. Dále je možné hodnotit variabilitu s opakovaným měřením dat a bez opakovaného měření dat. [84][85]

V případě hodnocení rovnoměrného rozložení prodyšnosti v ploše tkaniny je vhodné použít dvoufaktorovou analýzu rozptylu (v tomto případě bez opakovaného měření), kdy je sledován rozptyl na dvou úrovních faktorů, zde A (ve směru osnovy) a B (ve směru útku). Kombinací těchto faktorů vzniká pravoúhlá síť, která vytváří jednotlivé buňky (cely), viz (obr. 37). Síť je tvořena maticí prků (buněk) o rozměru z_{ij} , kde $i=1,2,\dots, M$ a $j=1,2,\dots, N$. Počet buněk sítě je tedy $n=MN$. [93] [85] Model analýzy je v tomto případě ve tvaru:

$$z_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + C\alpha_i\beta_j \quad (62)$$

kde μ je celková střední hodnota, α_i představuje složky odpovídající efektům faktoru A (efekt sloupců, tedy směr osnovy), β_j jsou složky odpovídající efektům faktoru B (efekty řádků, tedy směr útku) a $C\alpha_i\beta_j$ je interakční člen, který je důsledkem různých kombinací sloupcových a řádkových efektů. U nejjednoduššího tzv. Tukeyova modelu interakce (model neaditivity) s jedním stupněm volnosti je koeficient neaditivity C konstantou. [93]

Hypotéza H_0 zde říká – efekty faktoru A jsou nulové ($\alpha_i=0$), což značí rovnoměrnost ve směru osnovy, hypotéza H_0^* zde říká – efekty faktoru B jsou nulové ($\beta_j=0$), což značí rovnoměrnost ve směru útku, hypotéza H_0^{**} zde říká – interakce je nulová ($C\alpha_i\beta_j=0$).



Obr. 37: Rozložení měřených míst pro analýzu rozptylů

Celkovou variabilitu sledovaných hodnot, lze rozdělit do dvou částí, variabilitu hodnot jednoho faktoru a variabilitu mezi faktory. Toto porovnání je možné vyhodnotit pomocí F-testu pro rozptyl. Je hodnocena hodnota testovacího kritéria F, která je dána podílem těchto dvou částí rozptylů, kdy v čitateli je vyšší z rozptylů a ve jmenovateli nižší. Testovací kritérium F je porovnáváno s kritickou hodnotou F_{krit} , která je dána kvantilem F rozdělení s hladinou významnosti α a stupni volnosti, které jsou zde určeny $M-1$ (ve směru osnovy) a $N-1$ (ve směru útku.) [85] Platí tedy

$$F = \left(\frac{s_u^2}{s_o^2}; \frac{s_o^2}{s_u^2} \right), \quad F_{krit} = F(0,975, M-1, N-1) \quad (63)$$

Hodnotí se zde nulová hypotéza $H_0: s_o^2 = s_u^2$, která se na základě výsledků přijímá nebo zamítá. Pokud je $f_a \leq f$ nulová hypotéza se přijímá, mezi rozptyly není statisticky významný rozdíl (jedná se o izotropii), pokud je $f_a > f$ nulová hypotéza se zamítá, je zde statisticky významný rozdíl mezi rozptyly (jedná se o vysokou anizotropii).

Pro charakterizaci rozložení sledované vlastnosti v ploše je možné použít také disperzní index I_d , [86][87] který je vyjádřen podílem rozptylu celkového s^2 a střední hodnoty m , platí tedy

$$I_d = \frac{s^2}{m} \quad (64)$$

Celkový průměr m , celkový rozptyl s^2 , celkový variační koeficient CV s 95% interval spolehlivosti (za předpoklad normálního rozložení) jsou ve tvaru [84]

$$x = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N z_{ij}, \quad s^2 = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (z_{ij} - m)^2, \quad CV = \frac{s}{m} \quad (65)$$

kde s je celková směrodatná odchylka. Suma průměrů ve směru osnovy m_{i0} („o“ je sumační index), rozptyl průměrů ve směru osnovy s_o^2 a variační koeficient průměrů ve směru osnovy CV_o jsou ve tvaru [84]

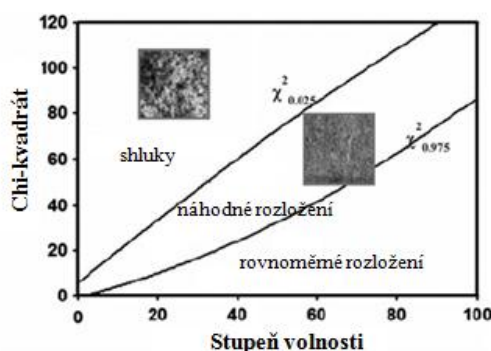
$$m_{i0} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M z_{ij}, \quad s_o^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (m_{i0} - m)^2, \quad CV_o = \frac{s_o}{m} \quad (66)$$

Obdobně je vyjádřen Suma průměrů ve směru útku m_{0j} , rozptyl průměrů ve směru útku s_u^2 a variační koeficient ve směru útku CV_u

$$m_{0j} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N z_{ij}, \quad s_u^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (m_{0j} - m)^2, \quad CV_u = \frac{s_u}{m} \quad (67)$$

Index nestejnoměrnosti I_d je založen na předpokladu, že náhodné rozdělení sledované vlastnosti v buňkách sítě odpovídá Poissonovu rozdělení (popisuje náhodnou veličinu), kde je průměr totožný s rozptylem a tedy $I_d = 1$. Pokud je disperzní index $I_d < 1$, považuje se plošné rozdělení vlastností za rovnoměrné a pokud je $I_d > 1$ větší je rozdělení vlastností nerovnoměrné a tvoří se shluky. [86] Testuje se nulová hypotéza $H_0: D(X) = E(X)$, tedy $I_d = 1$. Za předpokladu platnosti Poissonova rozdělení má veličina $L I_d$ rozdělení $\chi^2(L)$, se stupněm volnosti $L = n-1$ (n je zde celkový počet buněk sítě). Je tedy možné konstruovat mezní hodnoty $m_u = \chi^2(0,025;L)/L$ (horní mez disperzního indexu) a

$m_c = \chi^2(0,975;L)/L$ (dolní mez disperzního indexu), pro které platí: pro $I_d < m_u$ je rozložení prodyšnosti rovnoměrné v ploše vzorku a pro $I_d > m_c$ je rozložení prodyšnosti nerovnoměrné a dochází až k shlukování hodnot. Pokud leží I_d v intervalu mezi m_u a m_c je rozdělení prodyšnosti v ploše náhodné (obr. 38). [86]



Obr. 38: Rozložení rovnoměrnosti ploše dle disperzního indexu [86]

Pro znázornění rovnoměrnosti rozložení prodyšnosti lze použít také povrchový 2D nebo prostorový 3D graf, který bude obsahovat všechna naměřená data dle schématu na obr. 38. [93]

1.8. Měřicí přístroje pro hodnocení prodyšnosti

Pro hodnocení prodyšnosti existuje celá řada měřicích přístrojů. Jednotlivá měřicí zařízení se liší dle několika parametrů. Základním rozdílem mezi přístroji je směr průchodu vzduchu textilií. První typ přístrojů vzduch přes testovanou plochu vzorku nasává, druhý typ přístrojů vzduch přes plochu vzorku protlačuje. U druhé skupiny přístrojů jsou potom rozdíly ve velikosti kapacity kompresoru, pomocí něhož je vytvářené potřebné množství vzduchu protlačované textilií. Dále se přístroje liší v možnostech velikosti měřené plochy, která je dána velikostí upínací hlavy vzorku (obvykle 5, 20,

38, 50, 100 cm²), v rozdílném rozsahu tlaků, který se běžně pohybuje okolo 0-2 kPa (u specializovaných přístrojů až 0-100 kPa), případně v omezené tloušťce testovaného vzorku.

Přehled různých typů přístrojů pro měření prodyšnosti ve své práci uvádí například Houšková [64] nebo Veselá [65]. V této práci byla prodyšnost testována na třech přístrojích, na přístroji TEX TEST - FX 3300, na přístroji Porozimetr a na experimentálním zařízení MPT 01.

1.8.1. Měřicí přístroj FX 3300

Přístroj FX 3300 (Air Permeability Tester III) [72] je určen k měření prodyšnosti různých druhů plošných textilií s různou prodyšností. Tento přístroj funguje na principu sání vzduchu přes plochu vzorku. Vzorek je zde upínán do čelistí pomocí přitlačné hlavice, kdy po jejím stlačení dojde k automatickému spuštění sacího ventilátoru. Tlakový rozdíl (rozdíl tlaků, které působí na spodní a vrchní část vzorku) je zde automaticky udržován na konstantní hodnotě. Jednotku, ve které je prodyšnost uváděna je zde možné nastavit například [mm/s], [l/m²/s], hodnota je zobrazována digitálním displeji. [73]

Dle normy ČSN EN ISO 9237 [71] je pro měření na přístroji FX 3300 doporučeno nastavit pro oděvní textilie plochu 20 cm² a tlakový spád 100 Pa, pro technické textilie plocha 20 cm² a tlakový spád 200 Pa. Německá norma DIN 53,887 dle [71] specifikuje hodnotu tlakového spádu pro 3 druhy tkanin, pro oděvní tkaniny 100 Pa, pro technické tkaniny 200 Pa, a také pro parašutistické tkaniny na 160 Pa.



Obr. 39: Měřicí přístroj FX 3300 [41]

Parametry přístroje:

Průtok vzduchu: 7 – 1000 hl/hod (v závislosti na velikosti měřené plochy vzorky)

Zkušební plocha: 5, 20, 25, 38, 100 cm² (dle použité hlavice)

Rozsah tlaků: 98 – 2 500 Pa

Přesnost měření: ± 3 %

1.8.2. Porozimetr

Porozimetr (POROZIT, Hello Ltd. Hungary) [87] je jednoduchý přístroj pro testování prodyšnosti. V rámci této práce byl použit porozimetr s magnetickou upínací hlavicí vzorků s otvorem 38,5cm² a vakuovou nádobou o objemu 0,25l. Tlak je zde vytvořen vlivem gravitace při zpuštění závaží

přípevněné na spodní části nádoby. K přístroji je napojen digitální ovladač, na kterém jsou zaznamenávány výsledné hodnoty prodyšnosti v sekundách. [87]

Porozimetr je běžně používán v praxi k testování prodyšnosti zejména svrchních padákových tkanin (se zátěží), tkanin horkovzdušných balónů apod. Používá se při technických kontrolách, je schopný zaznamenat výrazné změny prodyšnosti vlivem degradace tkaniny, například při jejím poškození, či změnu prodyšnosti vlivem stárnutí materiálu. Při testování je doporučováno měřit prodyšnosti na různých místech tkaniny (padáku), největší degradace vlivem času je předpokládána uprostřed tkaniny (padáku). Pro přesnost měření je potřebné provést několikanásobné měření na tkanině (v praxi na jedné komoře padáku - prostor mezi horním a dolním potahem, který je rozdělený jednotlivými žebry). Měřená část tkaniny nesmí být nijak poškozená a musí být suchá (nesmí být mokrá ani vlhká), znamenalo by to zkreslení výsledku skutečné prodyšnosti celé tkaniny. [88] Předností porozimetru je zejména jeho přenosnost a snadné použití.



Obr. 40: Měřicí přístroj porozimetr - POROZIT

Parametry přístroje:

Zkoušební plocha: 38,5 cm² (dle použité hlavice)

Rozdíl tlaků: 1000 Pa

Přesnost měření: ± 3 %

Měření na porozimetru je založeno na získání hodnoty času, který je potřebný k průchodu určitého objemu vzduchu, který projde definovanou plochou tkaniny při stanoveném tlaku. Výsledek je na přístroji udáván v sekundách, na standardní jednotku (l/m²/s) ho lze převést dle vztahu

$$Pr = V / S * t * k_p \left[l / m^2 / s \right] \quad (68)$$

Z parametrů přístroje je zde objem $V=0,25l$, plocha $S=0,00385m^2$ a t (čas) je hodnota udaná přístrojem. Parametr k_p je přepočtení faktor, kdy pro přepočet na standardní jednotku za stejný tlakového rozdílu (tedy 1000 Pa) $k_p=1$. Pro jiné tlakové spády je nutné tento faktor určit pro konkrétní tkaninu. Některé normy pracují například s hodnotou prodyšnosti v litrech na 1m², při tlakovém rozdílu 200mm vodního sloupce (2000 Pa) [40], v tomto případě je nutné pro přesnější výpočet určit přepočtení faktor k_p , který zde odpovídá podílu prodyšností dané tkaniny při tlakovém rozdílu 1000 Pa a 2000 Pa. Pro normy pracující s hodnotou prodyšnosti v litrech na 1m² za min, je třeba čas ve vztahu () násobit 60.

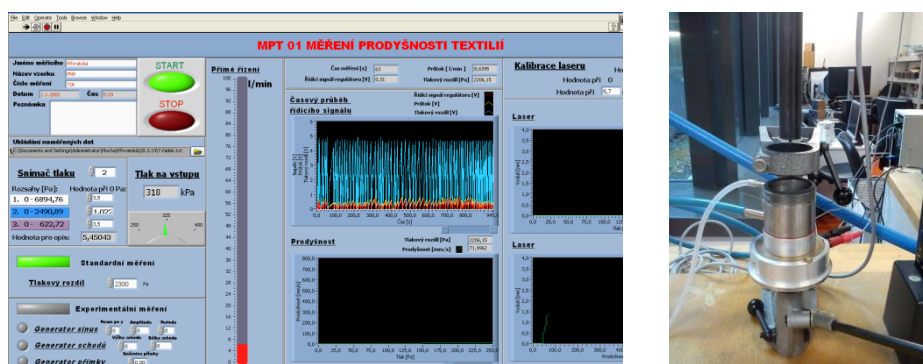
Stupnice pro hodnoty z porozimetru udávající stav padákové tkaniny: viz [88]

- > 200 sec - vynikající stav - P je menší než 27 l/m²/min
- 70-200 sec - velmi dobrý stav - P je menší než 77 l/m²/min
- 25-70 sec - dobrý stav - P je menší než 216 l/m²/min
- 18-25 sec - na hranici použitelnosti - P je menší než 300 l/m²/min
- <18 sec – nepoužitelný - P je větší než 300 l/m²/min

1.8.3. Měřicí zařízení MPT 01

Experimentální měřicí zařízení MPT 01 bylo vyvinuto s cílem hodnotit, kromě běžně testované statické prodyšnosti, také prodyšnost dynamickou. Zařízení je navíc opatřeno přídatnými prvky, které umožňují sledování struktury textilie v průběhu měření. Pomocí laserového snímače vzdálenosti je možné měřit výšku vydutí vzorku vlivem působení tlaku proudícím vzduchem na textilií. Naměřená data jsou pomocí počítačového softwaru zpracovávána a zaznamenávána do textového souboru. [65]

Principem měření na zařízení MPT 01 je vytvoření přetlaku pod textilií a protlačení vzduchu plochou textilie, která je upnutá v čelistech upínací hlavy přístroje. Rychlost průtoku vzduchu je zde možné regulovat pomocí průtokoměru, rozsah tlaků je zde možné volit ze třech typů snímačů. [65]



Obr. 23: Hodnocení prodyšnosti na MPT 01

Parametry přístroje:

- Průtok vzduchu: 0 – 833 mm/s
- Zkušební plocha: 20 cm²
- Rozsah tlaků: 0-622, 0-2490, 0-6894 Pa
- Přesnost měření: ± 3 %

V tabulce 6 jsou pro přehledné porovnání uvedeny jednotlivé parametry vybraných měřicích přístrojů pro testování prodyšnosti. Přístroje se liší rozměrem měřicí plechy, tlakovým spádem a Porozimetr také jednotkou, ve které je prodyšnost naměřena.

Tabulka 6: Porovnání přístrojů Porozimetr a FX 3300

Parametr přístroje	FX 3300	Porozimetr	MPT 01
Jednotka	mm/s = l/m ² /s	s	mm/s = l/m ² /s

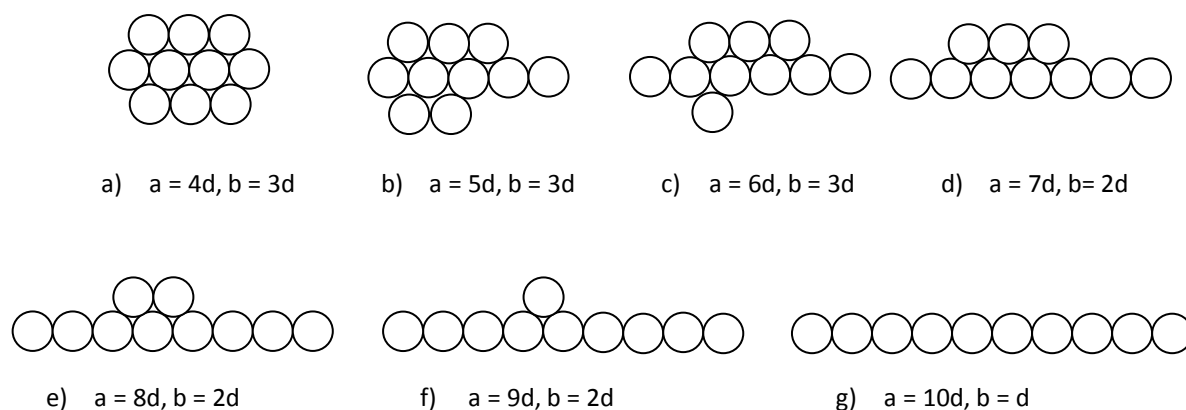
Rozdíl tlaků [Pa]	0 – 2500	1000	0-2491 (zvolený)
Měřicí plocha	20 cm ²	38,5 cm ²	20 cm ²
Měřený objem vzduchu	-	0,25 l	-

2. Návrh vztahů pro predikci vlastností padákových tkanin

Pro popis struktury multifilu a výpočty bude uvažován deformovaný Kempův průřez [48] ve tvaru oválu, který je složen ze dvou půlkruhů a obdélníku. Výpočty vycházejí z definovaných parametrů dle Neckáře [32]. Rozměry multifilu ve tkanině ovlivněné zploštěním γ jsou popsány šířkou a a tloušťkou b a dle [32] platí

$$b = \frac{a}{\gamma}, \quad a = b\gamma, \quad \gamma = \frac{a}{b} \quad (\text{N1})$$

Je uvažováno postupné zploštění multifilu, vycházející z plástvové struktury dle Neckáře [32] viz (obr. 41). Je zde znázorněn multifil o počtu vláken $n=10$, kdy z původního kruhového tvaru dochází vlivem tlaku k postupnému přesunu nití do osové roviny (nebo přibližné roviny) až k maximálnímu zploštění (obr. 41g). V této fázi je jeho šířka a rovna počtu vláken n a tloušťka b se rovná průměru vlákna d .



Obr. 41: Postupné zploštění multifilu

V nejširší vrstvě zploštělého multifilu (vrstva, ve které se nachází osové vlákno multifilu) je počet vláken N_a o průměru d

$$N_a = a/d \quad (\text{N2})$$

Počet axiálních vrstev na tloušťku multifilu N_b lze vyjádřit

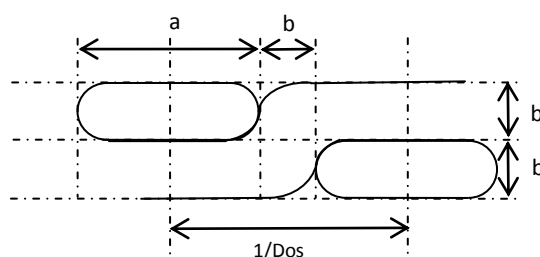
$$N_b = n/N_a = nd/a \quad (\text{N3})$$

Tloušťka multifilu b je součinem počtu axiálních vrstev N_b a průměru vlákna d a platí

$$B = N_b d = nd^2 / a = 1 / Dos - a \quad (\text{N3})$$

Dostava osnovy Do a útku Du zde vyjádřena počtem multifilových vláken na délku, resp. šířku tkaniny. Pro zjednodušení dalších výpočtů je předpokladem tzv. čtvercová dostava, tedy $Do = Du = Dos$. A také, že absolutní a relativní šířka multifilu α , tloušťka β , a jeho zploštění γ jsou ve směru osnovy a útku stejné. Pro výpočty je předpokládáno provázování multifilů modelově (pro zjednodušení) v plátňové vazbě v porovnání s reálnou vazbou ripstop. Pro výpočet je dále uvažována vyrovnaná tkanině a geometrie vazního bodu viz (obr. 42), která vychází z předpokládaného (idealizovaného) provázání nití. Zde je uvažována vzdálenost mezi multifily odpovídající právě tloušťce multifilu b . Pro výpočet dostavy je uvažováno zploštění multifilů na Kempův průřez o šířce a a tloušťce b , takže pro rozteč nití A platí

$$A = 1/Dos = a + b = \frac{a(\gamma + 1)}{\gamma}, \quad (N4)$$



Obr. 42: Zjednodušený předpoklad provázání multifilů ve tkanině

V případě, kdy není uvažováno zploštění multifilu, a tedy $\gamma=1$ a $a = b = D$, jedná se o dostavu limitní [35], pro kterou platí

$$Dos_{lim} = 1/2D, \quad (N5)$$

kde pokud známe počet vláken a jejich průměr, potom pro průměr multifilu platí $D = D_n$, viz vztah (11), pokud známe počet vláken, měrnou hmotnost vláken a jemnost multifilu, potom $D = D_T$, viz vztah (12). V případě, kdy dochází k pravidelnému rozložení vláken v multifilu vedle sebe až do úplné roviny, tedy tloušťka $b=d$, šířka $a = nd$ a zploštění $\gamma=n$ (obr.41g), lze odhadnout dostavu efektivní [35] dle vztahu

$$Dos_{ef} = 1/d(n+1) \quad (N6)$$

Dle (N1) je potom odvozen vztah pro zjištění dostavy tkaniny s plátňovou vazbou

$$Dos = \gamma / a(\gamma + 1) = \frac{\sqrt{\gamma}}{d\sqrt{n}(\gamma + 1)} \quad (N7)$$

Následně potom vztah pro odhad dostavy tkaniny s vazbou ripstop

$$Dos_R = \frac{n_1 + 2n_2}{(n_1 + n_2)(a + b)} \quad (N8)$$

kde n_1 je počet jednoduchých nití, n_2 je počet zdvojených nití, a je šířka zploštělého multifilu a b je výška zploštělého multifilu (dle obr. 42).

Pro vyjádření setkání nití ve tkanině je nutné si nejdříve vyjádřit délku nitě ve vazném bodě l_o , pro kterou zde s vyžitím parametrů a a b platí

$$l_o = a + \frac{\pi}{2}b = a \left(1 + \frac{\pi}{2\gamma}\right) = d\sqrt{n\gamma} \left(1 + \frac{\pi}{2\gamma}\right) \quad (\text{N9})$$

Závislost setkání na zploštění se potom vyjádří jako

$$Se = \left(\frac{l_o - A}{A}\right) = \frac{l_o}{A} - 1 = \frac{\gamma + \pi/2}{\gamma + 1} - 1 \quad (\text{N10})$$

Výpočet plošné hmotnosti tkaniny je odvozen ze vztahu (34) kdy platí

$$G = 2T * Dos(1 + Se) = 2T * Dos\left(\frac{\gamma + \pi/2}{\gamma + 1}\right) \quad (\text{N11})$$

Pro tloušťku tkaniny v závislosti na zploštění multifilu potom pro plátnovou vazbu platí

$$tl = 2b = \frac{2a}{\gamma} = 2d \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{\gamma}} \quad (\text{N12})$$

Pro ripstopovou vazbu bylo experimentálně uvažováno $tl = 2,5b$.

Z podílu plošné hmotnosti G , která vtahem (N5) udává hmotnost celkové hmoty ve tkanině a tloušťky tkaniny tl lze vyjádřit hustotu tkaniny ρ_t , pro kterou platí

$$\rho_{tk} = \frac{G}{tl} \quad (\text{N13})$$

Zploštění multifilu má velký vliv na zaplnění tkaniny, které je zde určeno podílem měrné hmotnosti (hustoty) celkové hmoty tkaniny a měrné hmotnosti vláken, ve tvaru

$$\mu = \frac{\rho_{tk}}{\rho_{vk}} \quad (\text{N14})$$

a porozita je potom vyjádřena jako doplněk k zaplnění tkaniny, ve tvaru

$$\varepsilon = 1 - \mu \quad (\text{N15})$$

Dalším krokem bylo hodnocení vztahu mezi tlakovým rozdílem, porozitou a prodyšností. Byl použit Darcyho lineární model (dle Kozeny-Carman (68)(69)). Model vychází ze základní lineární rovnice ve tvaru

$$y = a_1 x + a_0 \quad (\text{N16})$$

kde a_1 je lineární člen, a_0 je absolutní člen. Zanedbáním absolutní členu je vyjádřena závislost prodyšnosti na tlakovém spádu ve tvaru

$$v_s = a_1 \Delta p \quad (\text{N17})$$

v_s je prodyšnosti vzduchu [m/s], Δp je rozdíl tlaků [Pa]. Prodyšnost v_s je potom s vyjádřeným členem k (vztah (69)) ve tvaru

$$v_s = \delta \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \frac{D_p^2}{\eta} \frac{\Delta p}{tl} \quad (\text{N18})$$

kde δ je přepočtení koeficient, ε je porozita [-], D_p je hydraulický průměr částice [m], η je viskozita vzduchu [m²/s], tl je tloušťka tkaniny [m]. Kinematická viskozita η [m²/s] je dána součinem dynamické viskozity vzduchu ν [Pa.s] a hustoty vzduchu ρ_a [kg/m³]. Dynamická viskozita má při teplotě 0°C hodnotu $\nu = 1,71 \cdot 10^{-5}$, kinematická viskozita $\eta = 1,33 \cdot 10^{-5}$.

$$\eta = \nu \rho \quad (\text{N19})$$

Dále je vyjádřen parametr a_1 , který je ve tvaru

$$a_1 = \delta \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \frac{D_p^2}{\eta tl} \quad (\text{N20})$$

Z tohoto vztahu jsou potom vyjádřeny neznámé veličiny αD_p^2 , dle

$$\delta D_p^2 = a_1 \frac{(1-\varepsilon)^2 tl \eta}{\varepsilon^3} \quad (\text{N21})$$

kde lineární člen a_1 je možné zjistit experimentálně lineární regresí závislosti prodyšnosti na tlakovém spádu, ε je porozita [-] zjištěna experimentálně dle (vztah (N11)), tl tloušťka tkaniny [m], která je experimentálně naměřená, nebo teoreticky odvozená (dle vztahu (N8) a η je kinematická viskozita vzduchu [m²/s]

Dále byla závislost odvozena také dle modelu Erguna, který vychází ze základní kvadratické rovnice

$$y = a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (\text{N22})$$

kde a_2 je kvadratický člen, a_1 je lineární člen a a_0 je absolutní člen. Vyjádření závislosti tlakového spádu a prodyšnosti je potom se zanedbáním absolutního členu v základním tvaru

$$\Delta p = a_1 v_s + a_2 v_s^2 \quad (\text{N23})$$

Z Ergunova vztahu (rovnice (73)) potom platí

$$\Delta p = \frac{150 \eta tl (1-\varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} v_s + \frac{1,75 \rho_a tl (1-\varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} v_s^2 \quad (\text{N24})$$

kde Δp je rozdíl tlaků [Pa], η je kinematická viskozita vzduchu [m^2/s], tl je tloušťka tkaniny [m], D_p je hydraulický průměr částice, ρ_a je hustota vzduchu [kg/m^3], v_s je rychlost proudění vzduchu (prodyšnost) [m/s], parametry K_1 je kvadratický koeficient [m^2] a K_2 je lineární koeficient [m].

Dále byl vyjádřen lineární člen a_1 a kvadratický člen a_2 , které jsou ve tvaru

$$a_1 = \frac{150 \eta tl (1-\varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} \quad a_2 = \frac{1,75 \rho tl (1-\varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} \quad (\text{N25})$$

Z koeficientů a_1 , a_2 byl dále vyjádřen neznámý parametr D_p

$$D_{p(1)} = \sqrt{\frac{150 \eta tl (1-\varepsilon)^2}{a_1 \varepsilon^3}} \quad D_{p(2)} = \frac{1,75 \rho tl (1-\varepsilon)}{a_2 \varepsilon^3} \quad (\text{N26})$$

kde viskozita a hustota vzduchu jsou známé parametry, tloušťka a porozita jsou experimentálně zjištěné parametry. Lineární regresí jsou dále získány a ověřovány parametry a_1 , a_2 polynomu 2. stupně

$$\Delta p = a_1 v_s + a_2 v_s^2 \quad (\text{N27})$$

3. Experimentální část

3.4. Charakteristiky testovaných materiálů

V rámci diplomové práce byly hodnoceny padákové tkaniny určené zejména pro výrobu záchranných padáků, jako jsou například záložní padáky pro paraglidingové kluzáky. Soubor testovaných vzorků se skládá ze 4 komerčních padákových tkanin z vysoce pevnostního PAD 6.6, jejichž charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 7 a dvou prototypů nových tkanin Ortex z PAD 6.6 a PET (v surovém stavu a ve stavu po úpravách) od firmy Sky Paragliders, jejichž charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 7: Základní charakteristiky komerčních tkanin z PAD 6.6

	AF0801C	AF1601A	PN9	9082 LT2
Charakteristika	Výrobce	Výrobce	Porcher Sport	Porcher Sport
Materiál	HT PAD 6.6	HT P PAD 6.6	HT PAD 6.6	HT PAD 6.6
Jemn. mult. [dtex]	33,3	22,2	22	33
Počet vláken v multifilu	10	10	-	-
Plošná hm. [g/m²]	39,5	29,5	30,0 +/- 3	40,0 +/- 2
Vazba	Ripstop	Ripstop	Ripstop	Ripstop
Dostava O/Ú [n/cm]	50/51	62/62	-	-
Finální úprava	Kalandrováno, protihořlavá úprava	Kalandrováno, protihořlavá úprava	Kalandrováno	Kalandrováno (po obou stranách)
Prodyšnost [l/m²/s], 125 Pa	8-11	8-12	<15	15 max
Prodyšnost [l/m²/mn], 125 (127) Pa, BSEN 9237, ISO 9237				

Tabulka 8: Základní charakteristiky vzorků Ortex dle výrobce (Sky Paragliders)

	PA66 - 17/3F/5	PA66 - 17/3BF/3/D	PET - 17/5D/2	PET – 17/5D/1
	surová	po úpravě	surová	po úpravě
Materiál	HT PA66	HT PA66	PET, typ 710	PET, typ 710
Jemnost mult.[dtex]	33	33	33	33
Počet vl. v multifilu	14	14	16	16
Vazba (ripstop)	O: 14 + 1*2/Ú: 15 + 1*2			16 + 2*2/18 + 2*2
Dostava O/Ú [n/cm]	44/49		43/48	
Finální úprava		Praní, fixace, antistat. přípr., 4 x kalandr.	Praní, fixace	

3.5. Metodika testování

V rámci experimentální části byly zkoumány základní geometrické parametry padákových tkanin - struktura multifilu a jeho chování ve tkanině, vazba a dostava tkanin. Tyto parametry jsou zde hodnoceny pomocí optických zařízení - elektronovým rastrovacím mikroskopem Tescan VEGA a systémem obrazové analýzy. Dále zde byla zjišťována plošná hmotnost a tloušťka tkanin a porozita tkanin, která byla zjišťována z měrných hmotností.

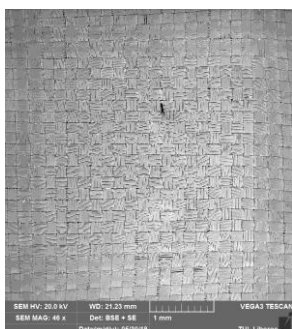
V další části experimentu byla hodnocena prodyšnost tkanin. Prodyšnost byla testována dle normy ČSN EN ISO 9237 [71] na třech různých měřících zařízeních – měřícím přístroji FX 3300, Porozimetru (přístroji běžně používaném v praxi pro testování prodyšnosti padákových tkanin) a experimentálním měřícím zařízením MPT 01. Prvním krokem bylo zjištění průměrné prodyšnosti tkanin a jejich porovnání, v dalším kroku byla zjišťována korelace naměřených hodnot na jednotlivých přístrojích. Všechny tři typy přístrojů umožňují testování statické prodyšnosti, zařízení MPT 01 navíc poskytuje možnost hodnocení dynamické prodyšnosti a měření vydutí vzorku vlivem proudícího vzduchu.

Stěžejní částí experimentu bylo použití a vyhodnocení navržených predikčních teoretických modelů pro odhad parametrů padákových tkanin. Tyto modely jsou zde porovnány s experimentálně naměřenými daty, pomocí nichž je ověřována jejich platnost.

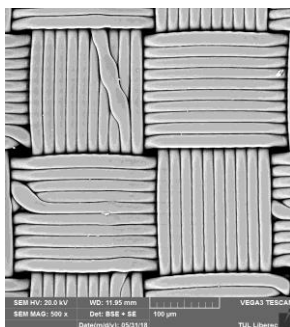
3.6. Hodnocení multifilů ve tkanině

V rámci testování základních geometrických vlastností tkanin byla zkoumána struktura multifilu ve tkanině – počet vláken v multifilu, zaplnění a jeho deformace - zploštění. Pro hodnocení multifilů byly použity snímky podélných pohledů a příčných řezů z elektronového mikroskopu Vega Tescan (obr. 43).

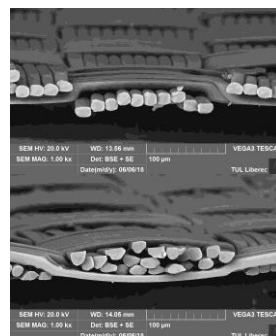
AF1601A (n=10)



a) *Líc*

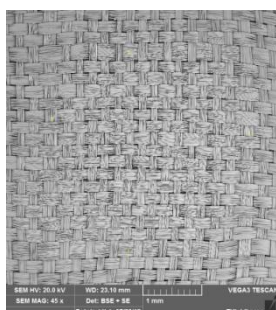


b) *Rub*

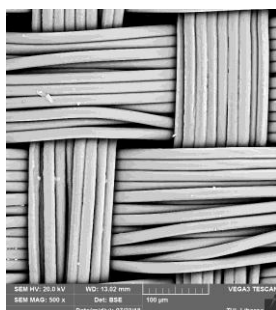


c) *Příčný řez (osnova)*

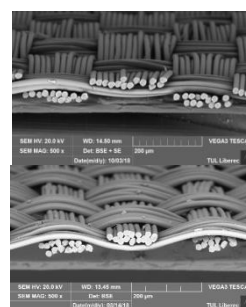
Tkanina Ortex PA66 – surová



c) *Líc*

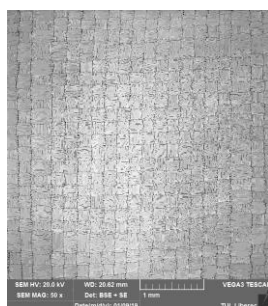


d) *Rub*

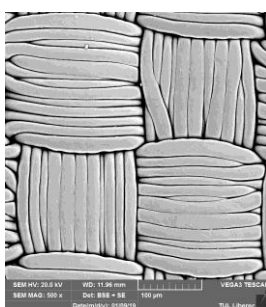


e) *Příčný řez útek/osnova*

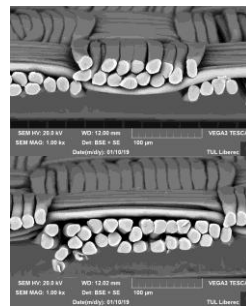
Tkanina Ortex PA66 – v úpravě praní, fixace, antistatický přípravek, 4 x kalandrovaná



f) *Líc*

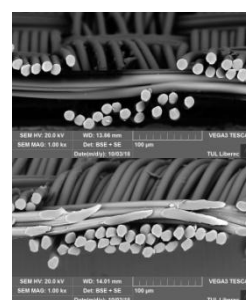
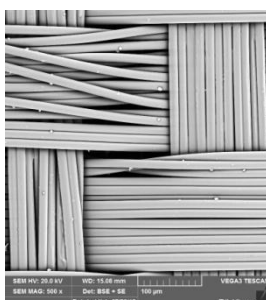
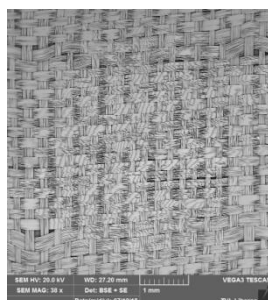


g) *Rub*



h) *Příčný řez (útek)*

Tkanina Ortex PET – surová

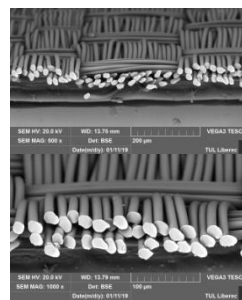
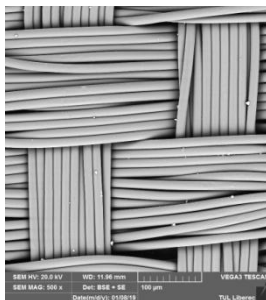
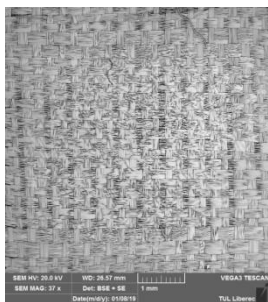


i) Líc

j) Rub

k) Příčný řez (útek)

Tkanina Ortex PET – v úpravě praní, fixace



l) Líc

m) Rub

n) Příčný řez (útek)

Obr. 43: Snímky tkanin z rastrovacího mikroskopu Tescan Vega

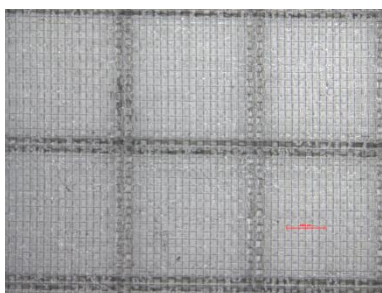
Z příčných řezů tkaninou byl stanoven počet vláken v multifilu. Ze snímků bylo dále možno zjistit způsob provedení zesílených míst. Na příčných řezech bylo také možné sledovat míru zploštění multifilu ve vazném bodě u surových a kalandrovaných vzorků. Ze snímků je patrné, že může docházet až k maximálnímu zploštění, kdy je zploštění γ rovno počtu vláken n . K maximálnímu zploštění došlo u pouze multifilů s menším počtem vláken viz.(obr. 43a), kde je zobrazena tkanina z multifilu o 10 vláknech. U tkanin s vyšším počtem vláken zůstala vlákna ve dvou až třech řadách nad sebou. Na snímku surové tkaniny z PAD 6.6. (obr. 43e) je také vidět různé napětí nití v osnově a útku, které ovlivňuje výsledné zploštění multifilu. Snímky ostatních tkanin jsou uvedeny v příloze 1.

Z poznatků o deformaci multifilu ve vazném bodě bylo vycházeno při experimentálním ověřování navržených predikčních vztahů. Pro odhady výsledných vlastností padákových tkanin je oproti běžným tkaninám zploštění multifilu poměrně zásadní, zejména po kalandrovací úpravě.

3.7. Hodnocení dostavy

Dostava tkanin byla zjišťována pomocí snímků pořízených v systému obrazové analýzy (obr. 44, 45). Nejprve byla zjišťována použitá vazba - počet nití ve střídě, kterou tvoří jednoduché a zdvojené nitě. Následně byla změřena velikost jedné střídy a počet opakování na délku l tkaniny. Dostava je potom vyjádřena celkovým počtem nití n na délku $l=10$ cm. Velikost střídy a výsledky dostav osnovy a útku jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulce 9.

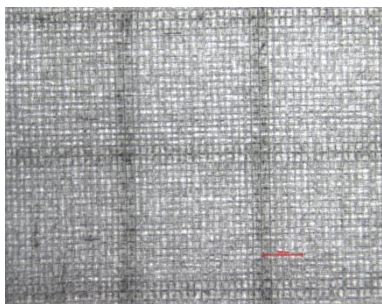
AF0801C



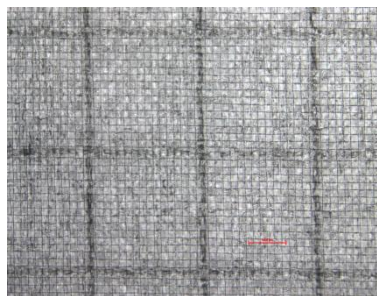
AF1601A



a)
PN9

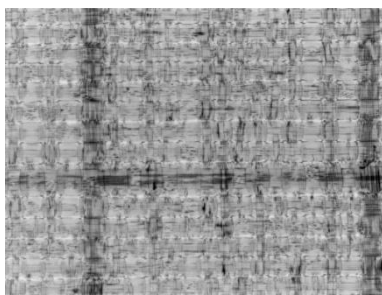


b)
9082 LT2



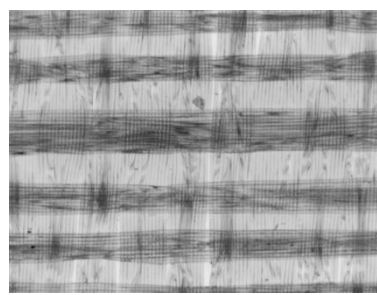
c)
Obr. 44: Snímky komerčních tkanin ze systému obrazové analýzy

PAD - kalandrovaná



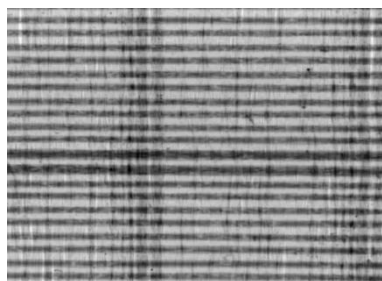
a)

PAD – surová



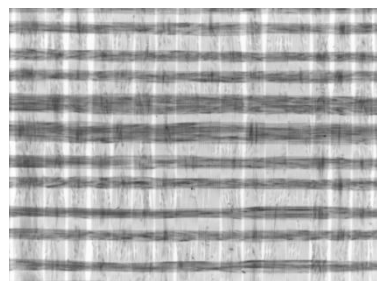
b)

PES – praní, fixace



c)

PES – surová



d)

Obr. 45: Snímky tkanin Ortex ze systému obrazové analýzy

Tabulka 9: Vazba a dostava testovaných tkanin

	Střída O/Ú	Počet nití ve střídě O/Ú	Dostava Do/Dú [n/1cm]	Dle výrobce
				Do/Du [nití/1 cm]
AF0801C	16+2*2/16+2*2	20/20	54/54	50/51
AF1601A	18+2*2/18+2*2	22/22	60/60	61,5/61,6
PN9	18+2*2/18+2*2	22/22	61/63	
9082 LT2	14+1*2/15+1*2	16/17	53/53	

PET 33/14 - 17/3F/5 (sur.)	14+2*2/16+2*2	18/20	44/47	
PET 33/14 - 17/3BF/3/D (praní, fixace)	16+2*2/18+2*2	20/22	44/51	42/48
PA66 33/16 - 1/5D/2 (sur.)	14+1*2/15+1*2	16/17	47/51	44/49
PA66 33/16 - 17/5D/1 (praní, fixace, antistat. pr., kalandr.)	14+1*2/14+1*2	16/16	49/55	

Nejvyšší dostavu osnovy i útku má tkanina PN9 ($D_o=61$, $D_u=63$), naopak nejnižší je u PET surové tkaniny Ortex ($D_o=44$, $D_u=47$). U tkanin AF0801C, AF1601A a 9082 LT2 byla zjištěna tzv. čtvercová dostava (tzn. $D_o=D_u$), u ostatních tkanin je dostava osnovy nižší než dostava útku. Nejvyšší rozdíl v dostavách byl naměřen na tkanině PET Ortex (v úpravě praní, fixace).

3.8. Plošná hmotnost, tloušťka a poróznost tkanin

Postup zjišťování plošné hmotnosti tkanin vycházel z normy ČSN EN ISO 12127 (z r. 1998) [96], která je českou verzí evropské normy EN ISO 12127 (z r. 1997). Z každé tkaniny bylo odebráno 5 vzorků o ploše 10 cm^2 odebraných po celé šíři tkanin, každý vzorek byl měřen třikrát. Celkem bylo tedy pro každou tkaninu získáno 15 hodnot.

Postup zjišťování tloušťky tkanin vycházel z normy ČSN EN ISO 5084 (z r. 1998) [95], který je českou verzí evropské normy EN ISO 5084 (z r. 1996). Podstatou této zkoušky je stanovení tloušťky textilií při stanoveném přitlaku $0,01\text{ kPa}$. Na každém vzorku bylo naměřeno celkem 8 hodnot diagonálně po celé šíři tkaniny.

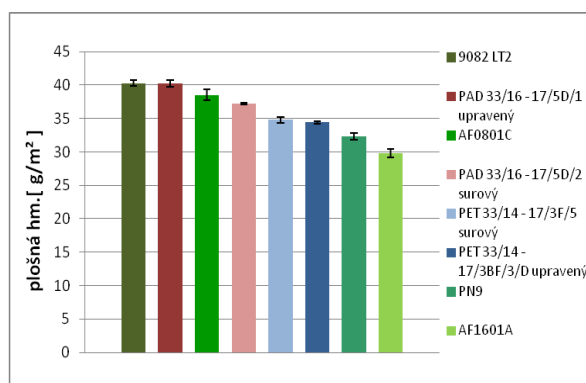
Porozita tkanin zde byla stanovena z objemového podílu dle vztahu (39), je zde vyjádřena jako bezrozměrná veličina.

Průměrné hodnoty zjišťovaných parametrů jsou uvedeny v tabulce 10, pokud byla při měření zaznamenána variabilita, je zde uveden 95% interval spolehlivosti. Na obr. 46 je grafické porovnání plošných hmotností vzorků, na obr. 47 porovnání tloušťky, na obr. 48 je znázorněna porozita vzorků v závislosti na hustotě tkanin.

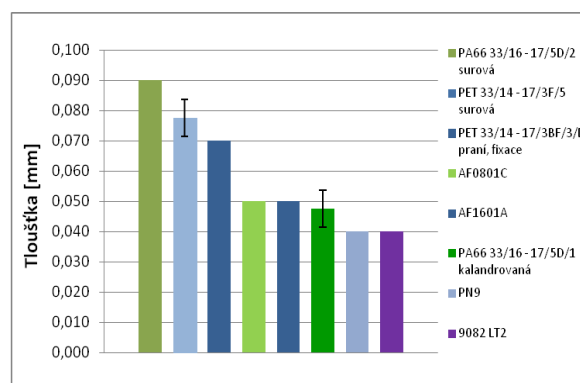
Tabulka 10: Plošná hmotnost, tloušťka, porozita testovaných tkanin

	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka [mm]	Hustota tkaniny [kg/m ³]	Hustota vlákn [kg/m ²]	Objemové zaplnění [-]	Porozita [-]
AF0801C	38,50 <38,91;38,09>	0,05	770,00	1130	0,681	0,318
AF1601A	29,50 <30,33;28,67>	0,04	590,12	1130	0,653	0,347
PN9	32,29 <32,55;32,03>	0,04	807,33	1130	0,714	0,286
9082 LT2	40,25 <40,48;40,03>	0,05	805,07	1130	0,712	0,288

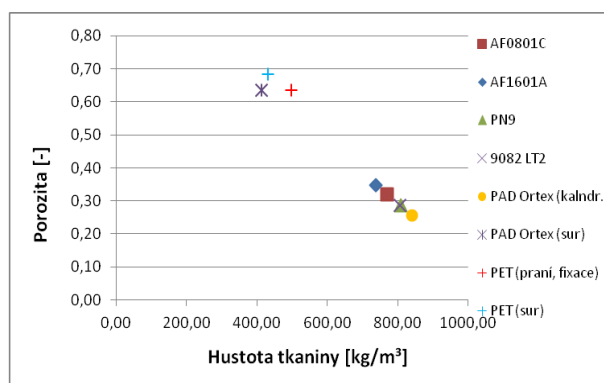
PA66 33/16 - 17/5D/1 (kal.)	40,23 <40,49;39,96>	0,05 <0,051;0,045>	840,00	1130	0,749	0,251
PA66 33/16 - 1/5D/2 (sur.)	37,24 <37,31;37,17>	0,09	413,33	1130	0,366	0,634
PET 33/14 - 17/3BF/3/D (praní, fixace)	34,40 <34,49;34,31>	0,07 <0,081;0,075>	497,14	1360	0,361	0,639
PET 33/14 - 17/3F/5 (sur.)	34,80 <35,01;34,59>	0,08	430,00	1360	0,330	0,669



Obr. 46: Porovnání plošné hmotnosti vzorků



Obr. 47: Porovnání tloušťky vzorků



Obr. 48: Vliv hustoty tkanin na jejich porozitu

Nejvyšší plošná hmotnost mezi komerčními tkaninami z celého souboru vzorků byla naměřena na tkanině 9082 LT2, at 40,25 [g/m²]. Naopak nejnižší plošná hmotnost byla naměřena na tkanině AF1601A, a to 29,50 [g/m²]. Při srovnání vzorků Ortex z PAD byl zaznamenán významný rozdíl mezi tkaninou surovou a kalandrovanou. Vyšší plošná hmotnost byla naměřena u PAD tkaniny po úpravě, a to 40,23 [g/m²]. U tkanin z PET je rozdíl mezi tkaninou surovou a po úpravě (pouze praní, fixace) nevýznamný, o něco vyšší byla hodnota naměřena na tkanině surové, a to 34,80 [g/m²].

Nejvyšší hodnota tloušťky byla naměřena na surových tkaninách Ortex. U surové tkaniny z PA66 byla naměřena tloušťka 0,09 mm, u surové tkaniny z PET 0,08 mm. Na komerčních tkaninách AF1601A a PN9 byla naměřena nejnižší hodnota tloušťky, a to 0,04 mm. Tkanina PA66 po úpravě má hodnotu tloušťky srovnatelnou s komerčními tkaninami, a to 0,048 mm. Mezi tkaninami Ortex surovými a po

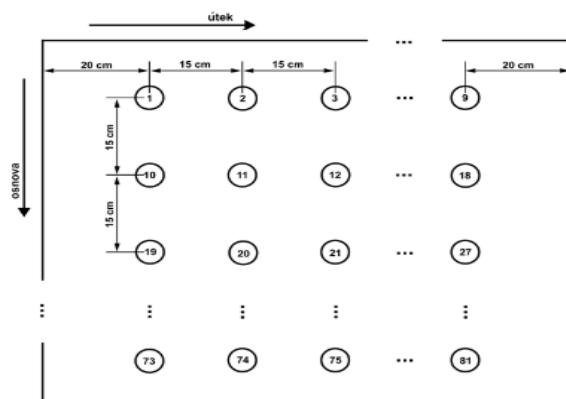
úpravách jsou v tloušťce statisticky významné rozdíly. U komerčních tkanin nebyla zaznamenána žádná variabilita měření, interval spolehlivosti je zde zanedbatelný.

Nejvyšší hodnota porózy byla zjištěna na surových tkaninách Ortex s hodnotami PET 0,669, PA66 0,634 a PET tkanině po praní a fixaci s hodnotou 0,639. U Kalandrovaných tkanin byla zjištěna nejvyšší poróza z vzorku AF1601A s hodnotou 0,347, nejnižší hodnota byla zjištěna na vzorku Ortex s PA66 0,251. Na obr. 48 je vidět, že se zvyšující se hustotou tkanin poróza klesá.

3.9. Prodyšnost

Testování prodyšnosti bylo provedeno na třech měřicích zařízeních, na přístroji FX 3300, Porozimetru a měřicím zařízení MPT 01. Vyhodnocení bylo provedeno s cílem zjištění průměrné hodnoty prodyšnosti tkanin, sledování rovnoměrnosti prodyšnosti v celé ploše tkanin a také z hlediska porovnání jednotlivých přístrojů, jejich vzájemné korelace naměřených dat a vhodnosti použití pro daný typ tkanin.

Postup měření vychází dále z interní normy č. 33-302-01/01 - Hodnocení prodyšnosti tkanin [92], která doplňuje normu EN ISO 9237 [71]. Nejprve byla vytvořena síť měřených buněk (obr. 49), o osmi řádcích s označením 1 – 8 a osmi sloupcích s označením A – H. Řádky i sloupce jsou od sebe vzdálené cca 15 – 20 cm, dle šíře tkaniny.



Obr. 49: Schéma sítě pro hodnocení prodyšnosti

Zkušební podmínky testování:

- teplota 15-20°C
- vlhkost vzduchu 60- 65 %
- Testovaná plocha – dle parametrů přístroje
- Tlakový rozdíl – dle parametrů přístroje, případně dle nastavení

3.9.1. Hodnocení prodyšnosti na přístroji FX 3300

3.9.1.1. Zjišťování průměrné prodyšnosti padákových tkanin

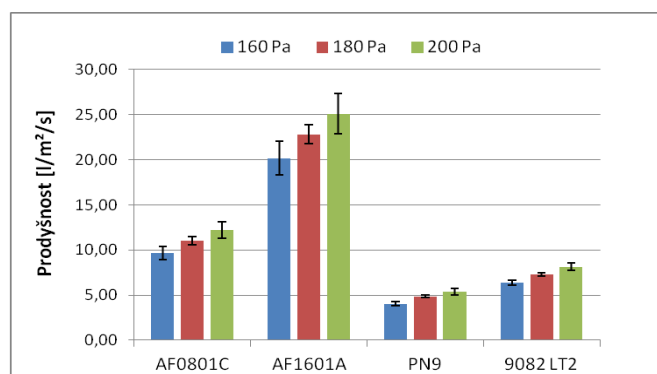
Bylo provedeno srovnávací měření prodyšnosti celého souboru vzorků padákových tkanin. Celý soubor vzorků byl testován při tlakovém spádu 200 Pa, který je normou EN ISO 9237 [71] stanoven pro technické textilie. Čtyři vzorky (komerční tkaniny) byly navíc testovány při tlaku 160 Pa, který je stanoven německou normou DIN 53 887 pro padákové tkaniny, a navíc při tlaku 180 Pa.

Schéma odběru vzorků (rozmístění měřených buněk) odpovídalo schématu dle interní normy č. 33-302-01/01 (viz obr.49). Na každé tkanině bylo naměřeno celkem 64 hodnot pro každý tlakový rozdíl. Plocha zkoušeného vorku byla 20 cm².

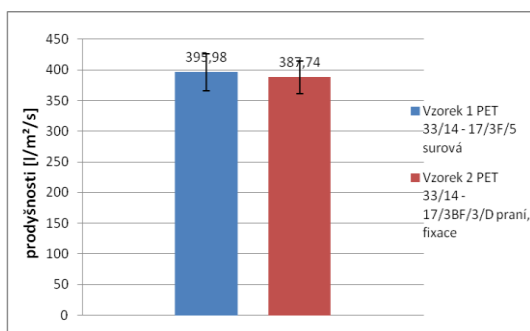
Celé matice naměřených hodnot pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v příloze 2. Výsledky průměrných hodnot prodyšnosti s 95% intervalem spolehlivosti jsou uvedeny v tabulce 11. Na obr. 44 je uvedeno grafické porovnání prodyšnosti komerčních tkanin při různém rozdílu tlaků. Na obr. 45 a 46 je uvedeno srovnání prodyšnosti surových a upravených tkanin Ortex.

Tabulka 11: Průměrná prodyšnost tkanin měřená na přístroji FX 3300 při tlakovém rozdílu 200 Pa

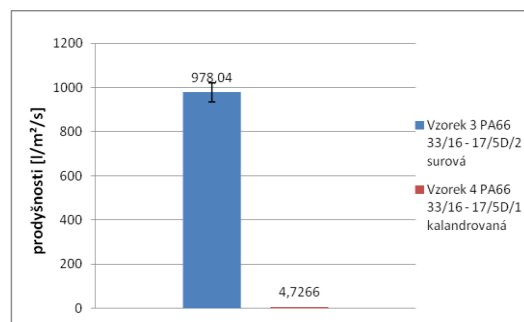
Počet měřených míst: 64	Průměrná prodyšnost [l/m ² /s] při 160 Pa	Průměrná prodyšnost [l/m ² /s] při 180 Pa	Průměrná prodyšnost [l/m ² /s] při 200 Pa
AF0801C	9,62 <9,25;10,00>	11,03 <10,61;11,45>	12,21 <11,74;12,67>
AF1601A	20,18 <19,26;21,11>	22,82 <21,79;23,85>	25,69 <24,59;26,78>
PN9	4,04 <3,90;4,17>	4,85 <4,70;5,00>	5,37 <5,19;5,54>
9082 LT2	6,36 <6,21;6,52>	7,29 <7,11;7,48>	8,13 <7,91;8,34>
PA66 Ortex – sur			978,04 <956,69;999,38>
PA66 33/16 - 17/5D/1			4,73 <4,54;4,91>
PET Ortex – sur			395,98 <380,96;411,00>
PET 33/14 - 17/3BF/3/D			387,74 <374,60;400,88>



Obr. 50: Průměrná prodyšnost tkanin při různém tlakovém rozdílu



Obr. 51: Prodyšnost tkanin PET Ortex (tlak. rozdíl 200 Pa)



Obr. 52: Prodyšnost tkanin PA66 Ortex (tlak. rozdíl 200 Pa)

U padákových tkanin je žádoucí prodyšnost minimální, z tohoto hlediska se jeví jako nejvíce vyhovující z komerčních tkanin tkanina PN9 s hodnotou prodyšnosti 5,37 l/m²/s. Ze vzorků Ortex tkanina z PA66 (po úpravě), která má zároveň nejnížší prodyšnost z celého souboru testovaných tkanin, a to 4,73 l/m²/s. Nejvyšší prodyšnost z kalandrovaných vzorků byla naměřena na komerční tkanině AF1601A. Nejvyšší hodnoty prodyšnosti dle očekávání vykazovaly vzorky surových tkanin, nejvyšší prodyšnost byla naměřena na surové tkanině Ortex z PA 6.6.

3.9.1.2. Testování prodyšnosti při různém tlakovém rozdílu

Na kalandrovaných tkaninách bylo provedeno hodnocení závislosti prodyšnosti na změně tlakového rozdílu. Prodyšnost byla měřena při tlakovém rozdílu 160, 200, 400, 600, 800, 1000, 1500 a 2000 Pa. Plocha zkoušeného vorku byla 20 cm²

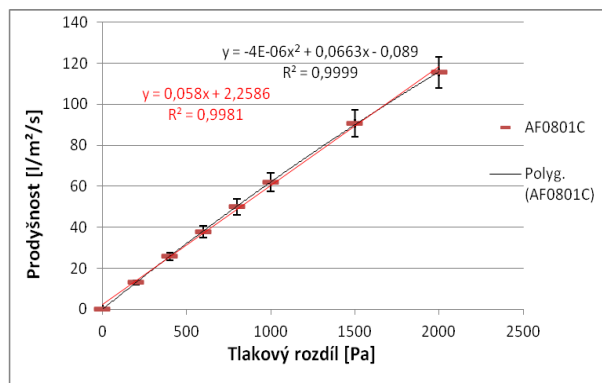
Schéma odběru vzorků (rozmístění měřených buněk) odpovídalo schématu dle interní normy č. 33-302-01/01 [94] (viz obr. 44). Na každém vzorku bylo naměřeno celkem 64 hodnot pro každý tlakový rozdíl.

Průměrné hodnoty prodyšnosti s 95 % intervalem spolehlivosti naměřené při různém tlakovém rozdílu jsou uvedeny v tabulce 12. Grafické znázornění prodyšnosti v závislosti na relativním tlakovém spádu (poměr tlakového spádu p a tloušťky tkaniny t) je pro vzorek AF0801C zobrazeno na obr. 52, pro vzorek PAD Ortex kalandrovaný na obr. 53, pro ostatní vzorky jsou grafy uvedeny v příloze 2.

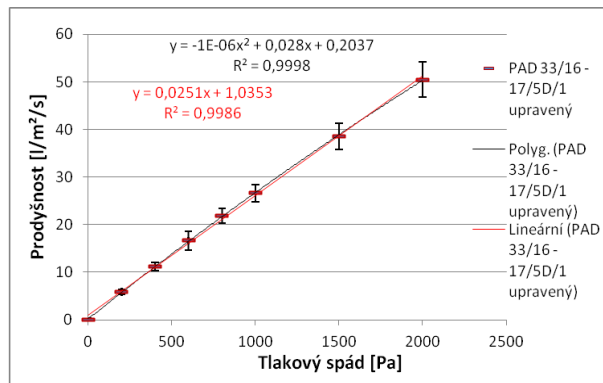
Tabulka 12: Průměrná prodyšnost vzorků a jejich 95% interval spolehlivosti při různém tlakovém rozdílu

	AF0801C	AF1601A	PN9	9082 LT2	PAD Ortex
Tlakový rozdíl 160 Pa	9,62 <9,25;10,00>	20,19 <19,26;21,11>	4,93 <3,90;4,17>	6,62 <6,21;6,52>	4,97 <4,81;5,12>
Tlakový rozdíl 200 Pa	13,16 <12,64;13,67>	25,52 <24,40;26,64>	5,97 <5,81;6,13>	8,27 <8,05;8,49>	5,87 <5,65;6,09>
Tlakový rozdíl 400 Pa	28,79 <24,89;26,69>	49,19 <46,99;51,38>	12,10 <11,79;12,41>	19,96 <16,52;17,39>	11,17 <10,73;11,62>
Tlakový rozdíl 600 Pa	37,88 <36,49;39,27>	71,36 <68,29;74,41>	18,17 <17,67;18,66>	27,74 <24,15;25,33>	16,62 <15,60;17,65>
Tlakový rozdíl 800 Pa	49,99 <48,09;51,89>	91,87 <88,10;95,64>	24,05 <23,49;24,60>	32,00 <31,21;32,79>	21,92 <21,15;22,68>

Tlakový rozdíl 1000 Pa	62,06 <59,77;64,35>	108,93 <104,78;113,08>	29,53 <28,81;30,25>	39,89 <38,90;40,88>	26,59 <25,72;27,46>
Tlakový rozdíl 1500 Pa	90,64 <87,43;93,85>	151,28 <145,52;157,04>	45,83 <44,59;47,07>	60,61 <59,11;62,11>	38,54 <37,17;39,91>
Tlakový rozdíl 2000 Pa	115,5 <111,79;119,79>	190,98 <183,75;198,22>	63,58 <61,99;65,16>	82,51 <80,52;84,49>	50,48 <48,64;52,33>



Obr. 53: Závislost změny prodyšnosti na tlakovém rozdílu



Obr. 54: Závislost změny prodyšnosti na tlakovém rozdílu

Pro vyjádření závislosti mezi tlakovým spádem a prodyšností byl ověřován lineární a kvadratický model. Pomocí lineární regrese založené na metodě nejmenších čtverců byla zjišťována významnost parametrů polynomu 2. stupně koeficientů a_1 a a_2 (bez absolutního členu a_0). Výsledky odhadů parametrů s 95% intervaly spolehlivosti středních hodnot a výsledky jejich významnosti (V – parametr je významný, N – parametr je nevýznamný) jsou uvedeny v tabulce 13. Výsledky parametrů klasického lineárního regresního modelu jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 13: Odhady parametrů polynomu 2. stupně

	AF0801C		AF1601A		PN9		9082 LT2		PAD Ortex	
Parametr	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2
Odhad parametru	297,712	0,406	182,373	0,420	866,671	-1,211	483,317	0,062	735,941	2,189
Směr. odchylka	2,985	0,032	2,259	0,015	10,899	0,209	17,672	0,264	8,858	0,216
Pravděpodobnost	2,6E-12	4,05E-06	1,18E-11	1,62E-08	1,31E-11	0,00067	2,24E-08	0,8208	9,63E-12	1,98E-05
Spodní mez 95% IS	290,653	0,331	177,031	0,385	840,897	-1,707	441,529	-0,564	714,996	1,678
Horní mez 95% IS	304,771	0,481	187,756	0,455	892,445	-0,716	525,106	0,685	756,886	2,701
Závěr	V	V	V	V	V	V	V	N	V	V

Tabulka 14: Odhady parametrů lineární regresní přímky

	AF0801C		AF1601A		PN9		9082 LT2		PAD Ortex	
Parametr	a1	a0	a1	a0	a1	a0	a1	a0	a1	a0
Odhad parametru	2,88E-09	0,00278	3,71E-06	0,011519	1,6E-06	-0,00073	2,03E-06	0,000539	1,16E-06	0,00138
Směr. odchylka	4,70E-11	0,000097	1,25E-07	0,003228	2,02E-08	0,000520	4,18E-08	0,000861	1,34E-08	0,000292
Pravděpodobnost	1,28E-09	0,028049	9,97E-08	0,011813	1,14E-09	0,208021	5,14E-09	0,554303	1,54E-10	0,003226

Spodní mez 95% IS	2,76E-09	0,000419	3,40E-06	0,00362	1,21E-06	-0,00200	1,93E-06	-0,00156	1,13E-06	0,000668
Horní mez 95% IS	2,99E-09	0,005158	4,01E-06	0,01942	1,31E-06	0,000539	2,13E-06	0,002645	1,20E-06	0,0021
Závěr	V	V	V	V	V	N	V	N	V	V

V rámci ověřování významnosti členů v regresním modelu polynomu 2. stupně, byla zjištěna nevýznamnost koeficientu a_2 u tkaniny 9082 LT2, u tkaniny PN9 je člen a_2 záporný, lze ho tedy také považovat za méně významný. Z hlediska porovnání členů a_1 a a_2 dominuje složka lineární, kvadratický člen je velmi malý, je tedy možné ho považovat za méně významný. Při vyšších hodnotách prodyšnosti se zvětšuje také rozpětí intervalu spolehlivosti.

Pro popis závislosti mezi relativním tlakem a prodyšností lze použít oba modely, z výsledků bylo ověřeno, že postačuje použití i jednoduššího lineárního modelu. Pokud známe prodyšnost R_1 naměřenou při rozdílu tlaků p_1 lze tedy při uvažované lineární závislosti odhadnout prodyšnost R_2 pro jiný tlakový spád p_2 dle vztahu

$$R_2 = \frac{R_1}{p_1} p_2 \quad (69)$$

3.9.1.3. Hodnocení rovnoměrnosti prodyšnosti v ploše

Hodnocení rovnoměrnosti prodyšnosti v ploše bylo provedeno dle interní normy TUL č. 33-302-01/01 (obr. 49). V jednotlivých buňkách (celách) o rozměru *cca 20x15cm (dle šíře tkaniny)* byla měřena prodyšnost určité plochy (oka) vzorku o velikosti S_0 [m²]. Tato plocha je dána velikostí upínací hlavice daného měřicího zařízení. U přístroje FX 3300 $S_0=20\text{cm}^2$. V jednom oku je dle typu tkaniny obsaženo cca 15 opakujících se stříd vazby.

Z hlediska kolísání hodnot prodyšnosti byla hodnocena její rovnoměrnost ve směru osnovy a útku. Rovnoměrnost byla hodnocena dle hodnot disperzního indexu I_d a dle analýzy rozptylu pomocí dvoufaktorové analýzy bez opakování (ANOVA) a dvouvýběrového F-testu pro rozptyl. Oba testy jsou hodnoceny na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Hodnocení nerovnoměrnosti bylo provedeno na hodnotách měřených při tlakovém rozdílu 200 Pa. Pro posuzování kalandrovaných tkanin byla použita matice bodů o rozměru 8 x 8, pro nekalandrované vzorky byla použita matice 5 x 8. V tabulce 15 je uvedeno hodnocení rovnoměrnosti dle disperzního indexu pro kalandrované tkaniny, v tabulce 16 pro nekalandrované tkaniny. V tabulce 17 je uvedeno hodnocení rovnoměrnosti kalandrovaných tkanin pomocí analýzy rozptylů a v tabulce 18 pro nekalandrované tkaniny.

Tabulka 15: Hodnocení rovnoměrnosti prodyšnosti pomocí disperzního indexu

	AF0801C	AF1601A	PN9	9082 LT2	PAD Ortex
Počet měřených míst	64	64	64	64	64
Rozměr matice	8 x 8	8 x 8	8 x 8	8 x 8	8 x 8
Celkový průměr [l/m ² /s]	12,206	25,103	5,367	8,126	5,870
Rozptyl ve směru osnovy s_o^2 [l/m ² /s]	0,269	1,197	0,019	0,237	0,280
Rozptyl ve směru útku s_u^2 [l/m ² /s]	3,530	21,322	0,481	0,527	0,334

Celkový rozptyl s^2 [$l/m^2/s$]	3,546	20,104	0,483	0,786	0,808
Celkový variační koeficient [%]	15,4	17,9	13,1	10,8	15,3
Disperzní index I_d [$l/m^2/s$]	0,295<DM	DM<0,814>HM	0,091<DM	0,090<DM	0,139<DM
Dolní mez pro I_d [$l/m^2/s$]	0,682	0,682	0,682	0,682	0,682
Horní mez pro I_d [$l/m^2/s$]	1,378	1,378	1,378	1,378	1,378
Rozložení nestejnoměrnosti	rovnoměrné	náhodné	rovnoměrné	rovnoměrné	rovnoměrné

Tabulka 16: Hodnocení rovnoměrnosti prodyšnosti pomocí disperzního indexu, vzorky Ortex

Parametr	PAD - surová	PET - surová	PET – po praní, fixaci
Počet měřených míst	40	40	40
Rozměr matice	5 x 8	5 x 8	5 x 8
Průměrná prodyšnost [$l/m^2/s$]	964,775	382,600	372,875
Rozptyl ve směru osnovy s_o^2 [$l/m^2/s$]	320,245	69,385	55,172
Rozptyl ve směru útku s_u^2 [$l/m^2/s$]	3850,070	2957,940	1090,450
Celkový rozptyl s^2 [$l/m^2/s$]	3897,512	2687,540	1271,958
Celkový variační koeficient [%]	6,4	13,7	9,5
Disperzní index I_d [$l/m^2/s$]	4,039>HM	7,205>HM	3,411>HM
Dolní mez pro I_d [$l/m^2/s$]	0,612	0,612	0,612
Horní mez pro I_d [$l/m^2/s$]	1,484	1,484	1,484
Rozložení nestejnoměrnosti	shluky/anizotropie	shluky/anizotropie	shluky/anizotropie

Stanovení hypotéz pro analýzu rozptylů (ANOVA – dva faktory bez opakování):

Hypotéza H_0 – faktory řádků jsou nevýznamné, rovnoměrnost ve směru útku

Hypotéza H_0^* – faktory sloupců jsou nevýznamné, rovnoměrnost ve směru osnovy

Stanovení hypotéz pro analýzu rozptylu dle F-testu:

Hypotéza H_0 – rozptyly ve směru osnovy a útku jsou shodné

Hypotéza H_0^* – rozptyly ve směru osnovy a útku nejsou shodné

Tabulka 17: Hodnocení rovnoměrnosti prodyšnosti pomocí analýzy rozptylu

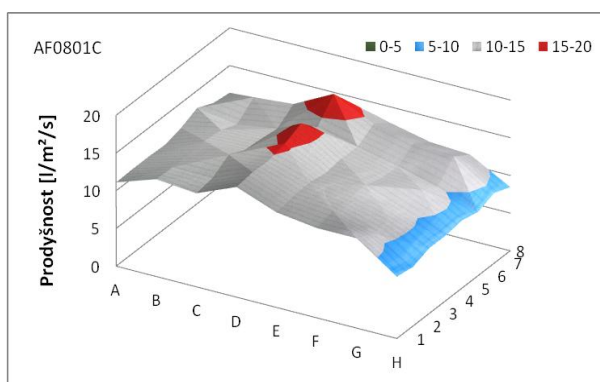
Druh testu	AF0801C	AF1601A	PN9	9082 LT2	PAD Ortex
F-test	13,141>3,787	17,817>3,787	25,195>3,787	2,220<3,787	1,193<3,787
Hladina významnosti p	0,00152	0,00058	0,00019	0,15729	0,411015
H_0	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta (dle p)	zamítnuta (dle p)
Anova (řádky)	7,418>2,203	18,303>2,203	2,549>2,203	14,812>2,203	6,355<2,203
Hladina významnosti p	4,53E-06	1,04E-11	0,025499	4,37E-10	2,47E-05
H_0	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta
Anova (sloupce)	97,485>2,203	326,098>2,203	64,211>2,203	32,373>2,203	7,581>2,203
Hladina významnosti p	1,55E-26	8,05E-39	1,72E-22	1,79E-16	3,53E-06
H_0^*	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta

Tabulka 18: Hodnocení rovnoměrnosti prodyšnosti pomocí analýzy rozptylu, nekalandrované tkaniny

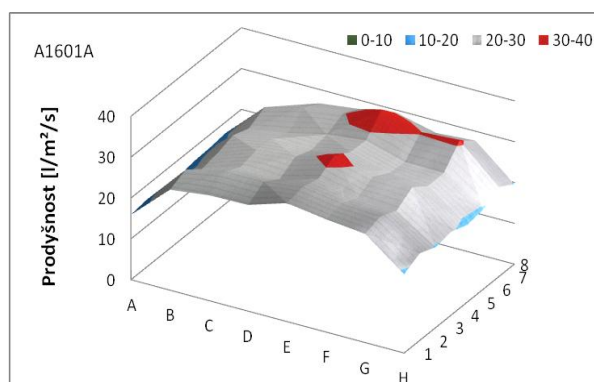
Druh testu	PAD - surová	PET - surová	PET – po praní, fixaci
F-test	12,022>6,094	42,630>6,094	19,765>6,094
Hladina významnosti p	0,0150	0,0014	0,0059

Hypotéza H_0	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta
ANOVA (řádky)	10,244>2,714	8,865>2,714	1,277<2,714
Hladina významnosti p	3,1E-05	9,4E-05	0,302
H_0	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta (dle p)
ANOVA (sloupce)	76,974>2,359	236,197>2,359	15,778>2,359
Hladina významnosti p	1,4E-16	3,6E-23	3,4E-08
H_0^*	zamítnuta	zamítnuta	zamítnuta

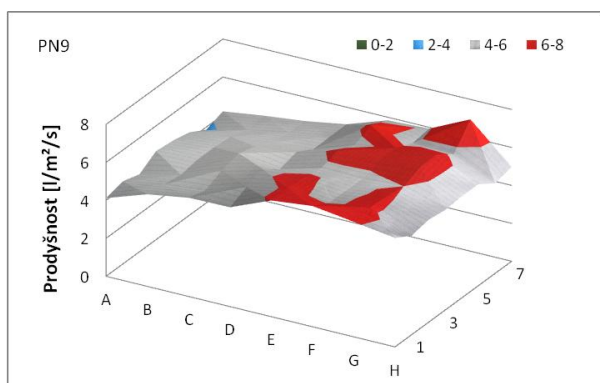
Na obr. 54 – 58 jsou zobrazeny 3D grafy kalandrovaných tkanin, kde je vidět rozložení prodyšnosti (měřené při tlakovém spádu 200 Pa) v ploše. Na obr. 59 – 61 jsou zobrazeny 3D grafy nekalandrovaných tkanin. Na obr. 62 a 63 jsou pro srovnání uvedeny 3D grafy rozložení prodyšnosti měřené při tlakovém spádu 2000 Pa.



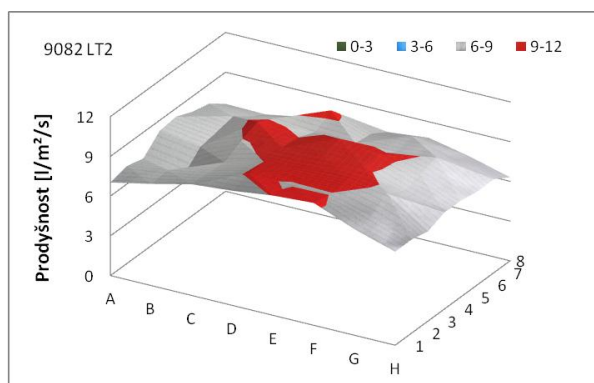
Obr. 55: 3D graf prodyšnosti vzorku AF0801C, 200 Pa



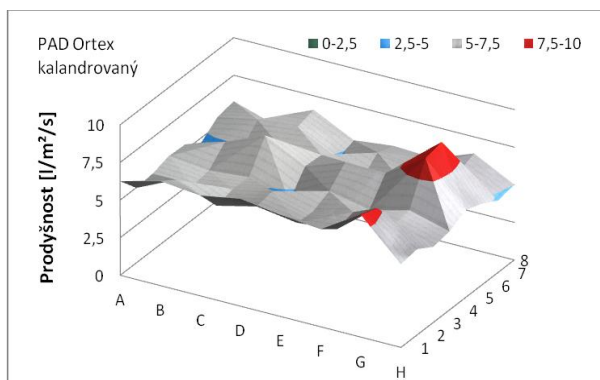
Obr. 56: 3D graf prodyšnosti vzorku AF1601A, 200 Pa



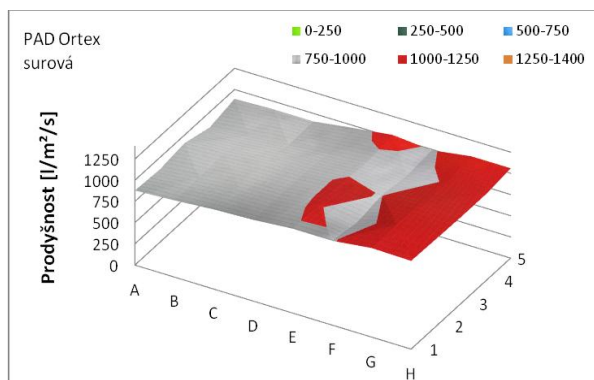
Obr. 57: 3D graf prodyšnosti vzorku PN9, 200 Pa



Obr. 58: 3D graf prodyšnosti vzorku 9082 LT2 200 Pa



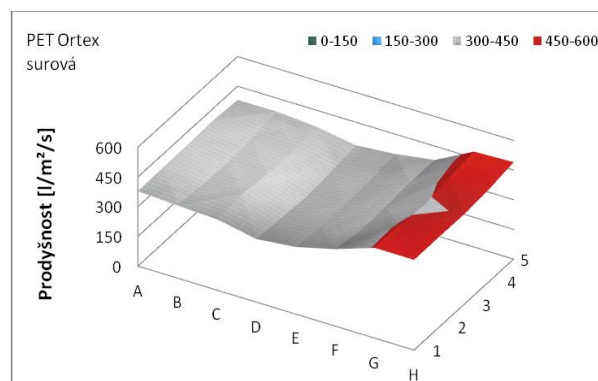
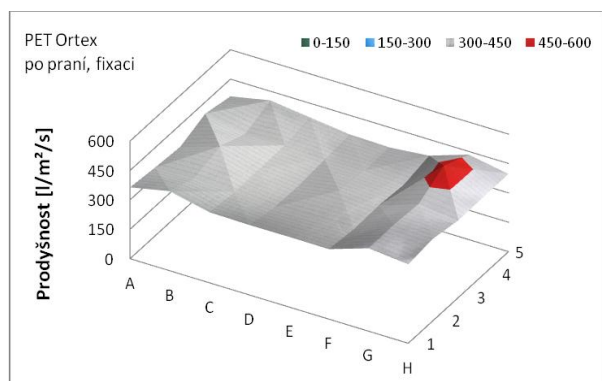
Obr. 59: 3D graf prodyšnosti vzorku PAD Ortex -



Obr. 60: 3D graf prodyšnosti vzorku PAD Ortex -

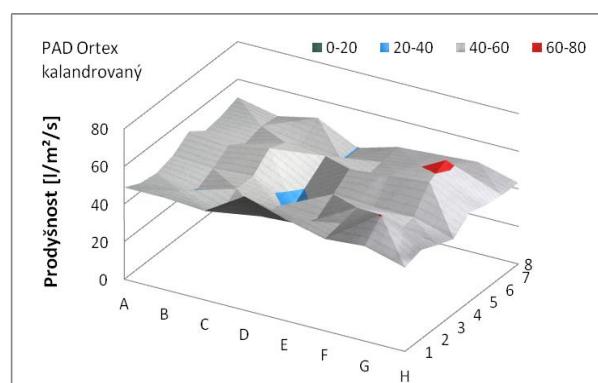
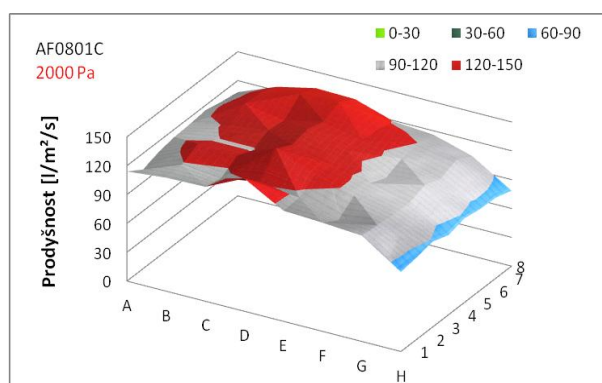
kalandrovaný, 200 Pa

surový, 200 Pa



Obr. 61: 3D graf prodyšnosti vzorku PET Ortex – po
praní a fixaci, 200 Pa

Obr. 62: 3D graf prodyšnosti vzorku PET Ortex -
surový, 200 Pa



Obr. 63: 3D graf prodyšnosti vzorku AF0801C,
2000 Pa

Obr. 64: 3D graf prodyšnosti vzorku PAD Ortex -
kalandrovaný, 2000 Pa



Obr. 65: 3D zobrazení prodyšnosti kalandrovaných tkanin

Rozložení nestejnoměrnosti kalandrovaných vzorků AF0801C, PN9, 9082 a PAD Ortex bylo dle disperzního indexu, o hodnotě menší než je jeho dolní mez, vyhodnoceno jako rovnoměrné, u vzorku AF1601A s hodnotou disperzního indexu ležící uvnitř intervalu jako náhodné. Pomocí analýzy rozptylů byla dle F-testu hodnocena platnost nulové či alternativní hypotézy. Pro vzorky AF0801C, AF1601A a PN9 byla hypotéza H_0 zamítnuta s 99,9%. Tyto vzorky jsou ohodnoceny jako vysoce anizotropní. Pro vzorky 9082 a PAD Ortex byla zjištěna platnost hypotézy H_0 , ale nebyla potvrzena z hlediska dosažení nízké hladiny spolehlivosti pro toto tvrzení. Proto jsou i tyto vzorky ohodnoceny jako anizotropní. Dle dvoufaktorové analýzy pro rozptyl byly pro všechny kalandrované tkaniny zamítnuty obě hypotézy H_0 i H_0^* , je zde tedy potvrzen vliv obou faktorů na nerovnoměrnost prodyšnosti.

Pro nekalandrované tkaniny je dle hodnoty disperzního indexu nestejnoměrnost ohodnocena jako nerovnoměrná s tvorbou shluků. Pomocí F-testu byla s dosaženou spolehlivostí 99% zamítnuta nulová hypotéza H_0 pro všechny vzorky. Rozdíl mezi rozptyly ve směru osnovy a útku jsou zde staticky významné a vzorky jsou ohodnoceny jako anizotropní. Dle dvoufaktorové analýzy pro rozptyl byla pro surové vzorky z PAD a PET zjištěna významnost obou faktorů ovlivňujících variabilitu. U vzorku PET v úpravě praní, fixace byla ve směru řádku zjištěna platnost nulové hypotézy, ale díky hladině významnosti větší než 0,05 toto tvrzení nemůže být potvrzeno.

Nestejnoměrnost prodyšnosti v ploše je zobrazena také pomocí 3D grafů, kde je u kalandrovaných vzorků (obr. 45,46,48) vidět trend zvyšující se prodyšnosti směrem do krajů ke středu tkaniny. U vzorku PN9 (obr. 47) byly naměřeny nižší hodnoty prodyšnosti v levé části tkaniny a směrem doprava se prodyšnost zvyšuje. U kalandrovaného vzorku PAD Ortex je pomocí 3D grafu (obr. 49), až na dvě místa s vyššími hodnotami, potvrzena rovnoměrnost prodyšnosti. U nekalandrovaných tkanin (obr. 50,51,52) byly naměřeny hodnoty prodyšnosti naopak vyšší v krajích a směrem do středu tkaniny se snižují.

Z výsledků byla zjištěná značná variabilita prodyšnosti v různých částech tkanin. Vzhledem k tomu, že prodyšnost a její rovnoměrnost je jednou z důležitých vlastností padákových tkanin, toto zjištění by

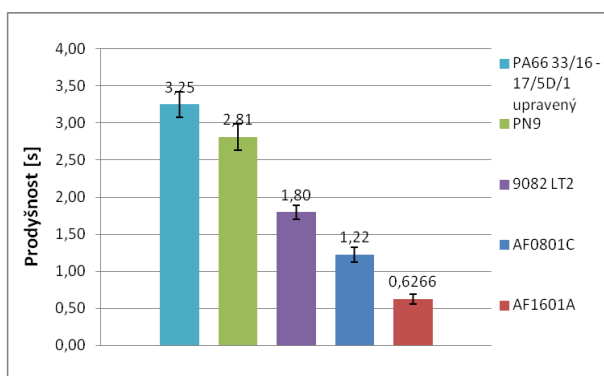
mělo vést k přezkoumání výrobních postupů tkanin, případně k jejich úpravě tak, aby byla zajištěna vyšší rovnoměrnost prodyšnosti.

3.9.2. Hodnocení prodyšnosti na Porozimetru

Prvním bodem zkoušky bylo provést srovnávací měření prodyšnosti celého souboru vzorků. Dalším bodem byl přepočet naměřených hodnot na Porozimetru, dle vzathu (68), na standardní jednotku [$\text{l/m}^2/\text{s}$] a porovnání výsledků s hodnotami naměřenými na přístroji FX 3300 (při stejném tlakovém rozdílu) s cílem zjistit korelaci mezi naměřenými daty.

Měřená plocha vorku na porozimetru byla $38,5 \text{ cm}^2$, měření prodyšnosti je zde za stanového tlakového rozdílu 1000 Pa. Schéma odběru vzorků (rozmístěný měřených buněk) vychází ze schématu dle interní normy č. 33-302-01/01 (viz obr. 44). Na vzorcích bylo naměřeno celkem 64 hodnot.

Zjištěné hodnoty prodyšnosti kalandrovaných tkanin naměřené na porozimetru jsou uvedeny v tabulce 16, grafické porovnání vzorků je uvedeno na (obr. 66). Hodnota prodyšnosti surových vzorků zde není uvedena z důvodu nízké citlivosti přístroje, který nebyl schopen jejich hodnotu zaznamenat.



Obr. 66: Porovnání prodyšnosti komerčních tkanin měřené na přístroji Porozimetru

Druhým bodem zkoušky bylo převedení hodnot prodyšnosti z porozimetru v sekundách na standardní jednotku $\text{l/m}^2/\text{s}$ a následné porovnání hodnot s hodnotami naměřenými na přístroji FX 3300. Pro zjištění korelace mezi daty z obou přístrojů bylo provedeno měření na přístroji FX3300 při tlakovém rozdílu 1000 Pa, který odpovídá tlakovému rozdílu Porozimetru. V tabulce 19 je uvedeno porovnání hodnot prodyšnosti naměřených na Porozimetru, přepočítaných hodnot na standardní jednotku a hodnot naměřených na FX 3300.

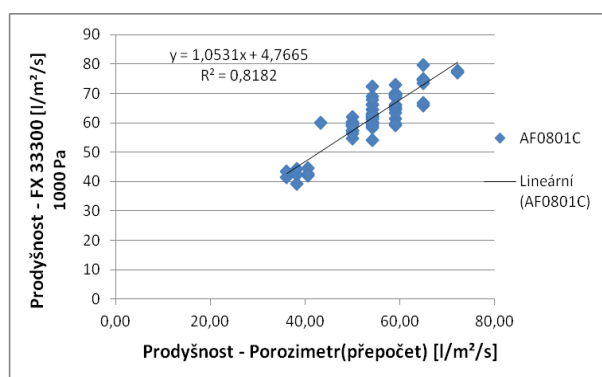
Výsledná závislost mezi daty naměřenými na Porozimetru a daty naměřenými na přístroji FX 3300 při shodném tlakovém rozdílu 1000 Pa je pro vybrané vzorky znázorněna na (obr. 67, 69 a 71). Na (obr. 68, 70 a 72) je zobrazena závislost mezi průměrnými hodnotami prodyšnosti ve směru osnova a útku, na (obr. 69 a 73) je pro dva vzorky znázorněna závislost při tlakovém rozdílu 200 Pa a na (obr. 70 a 74) pro tlakový rozdíln 2000 Pa. V tabulce 20 jsou dále uvedeny korelační koeficienty pro průměrné hodnoty prodyšnosti ve směru osnova a útku naměřené na Porozimetr u FX3300.

Tabulka 19: Přepočet hodnot z Porozimetru [s] na standardní jednotku [l/m²/s]

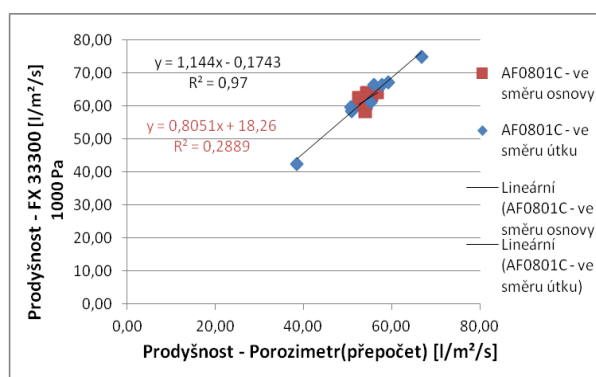
	AF0801C	AF1601A	PN9	9082 LT2	PAD Ortex
Hodnota z Porozimetru [s]	1,22 <1,17;1,27>	0,63 <0,59;0,66>	2,81 <2,72;2,90>	1,80 <1,75;1,84>	3,25 <3,14;3,34>
Přepočtená hodn. z Porozimetru [l/m²/s] (1000 Pa)	54,40 <52,44;56,37>	107,80 <102,9;112,7>	23,75 <22,94;24,56>	36,58 <35,64;37,51>	20,21 <16,65;20,76>
FX 3300 [l/m²/s] 1000 Pa	62,06 <59,77;64,35>	108,93 <104,8;113,1>	29,36 <28,59;30,12>	39,89 <38,90;40,88>	26,59 <25,72;27,46>
Přepočtená hodn. z Porozimetru [l/m²/s] na 2000 Pa	101,29 <90,93;111,65>	189,00 <164,93;213,6>	50,61 <46,31;54,91>	76,65 <70,19;81,12>	38,36 <37,31;39,41>
FX 3300 [l/m²/s] 2000 Pa	115,55 <111,8;119,31>	190,00 <183,7>	63,57 <61,99>	82,51 <80,52>	50,48 <48,63>
Přepočtená hodn. z Porozimetru [l/m²/s] na 200 Pa	11,53 <10,35;12,71>	25,30 <22,08;28,53>	4,58 <4,19;4,97>	7,58 <7,03;8,13>	4,46 <4,34;4,58>
FX 3300 [l/m²/s] 200 Pa	12,21 <11,74;12,67>	25,10 <24,00;26,21>	5,37 <5,19;5,54>	8,13 <7,91;8,34>	5,87 <5,65;6,09>

Tabulka 20: Korelace mezi hodnotami z Porozimetru a přístrojem FX 3300

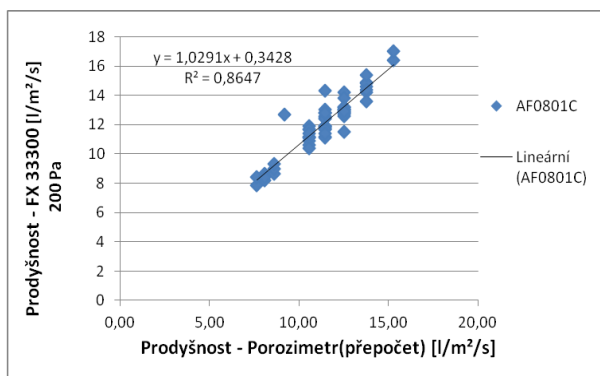
	AF0801C	AF1601A	PN9	9082 LT2	PAD Ortex
r ve směru útku	-0,35	0,98	0,94	0,98	0,85
r ve směru osnovy	0,62	0,92	0,40	0,98	0,94



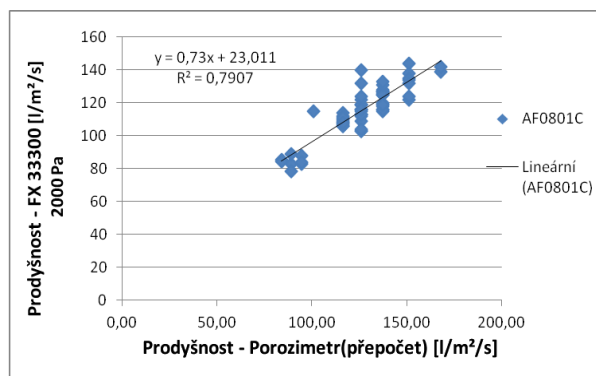
Obr. 67: AF0801C, tlakový spád 1000 Pa



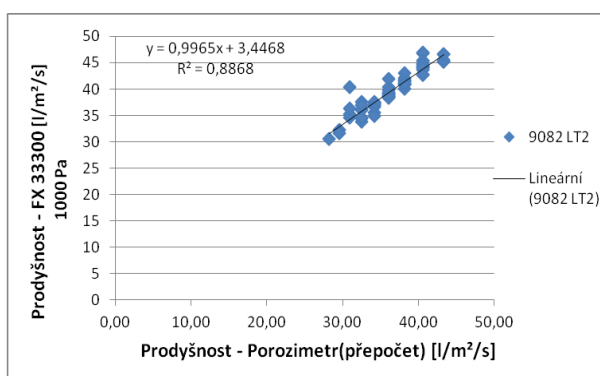
Obr. 68: AF0801C, tlakový spád 1000 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku



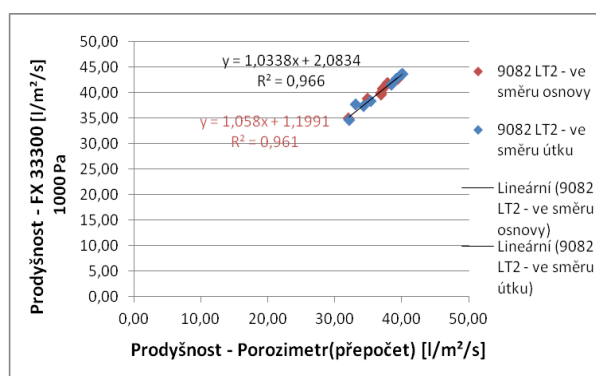
Obr. 69: AF0801C, přepočet na tlakový spád 200 Pa



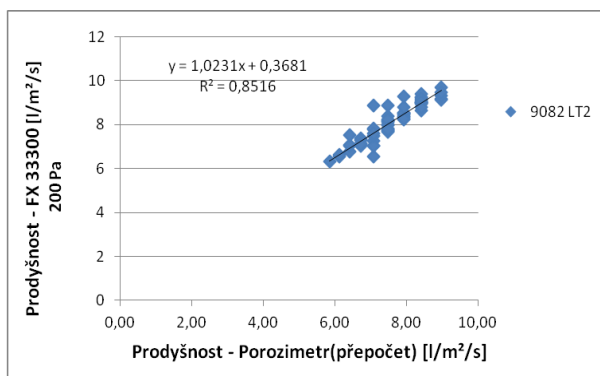
Obr. 70: AF0801C, přepočet na tlakový spád 2000 Pa



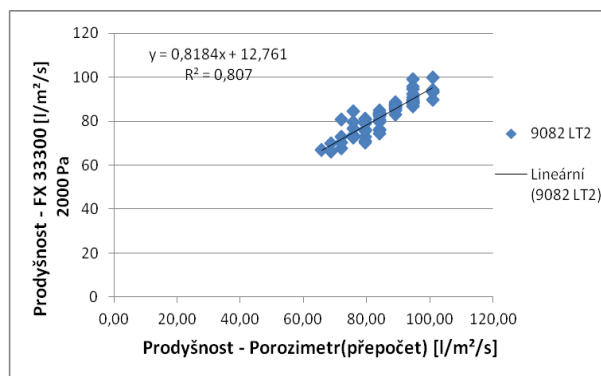
Obr. 71: 9082 LT2, tlakový spád 1000 Pa



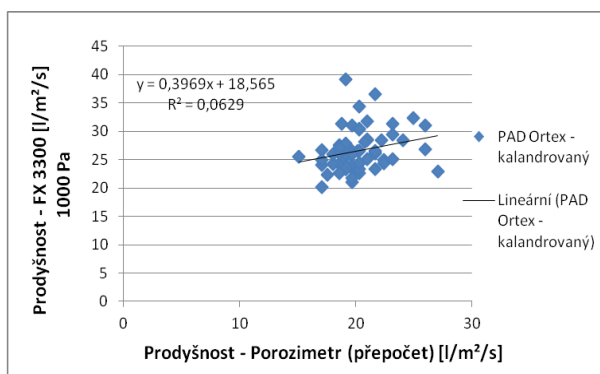
Obr. 72: 9082 LT2, tlakový spád 1000 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku



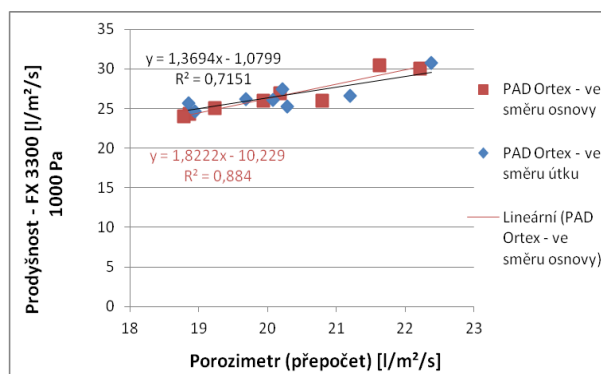
Obr. 73: 9082 LT2, přepočet na tlakový spád 200 Pa



Obr. 74: 9082 LT2, přepočet na tlakový spád 2000 Pa

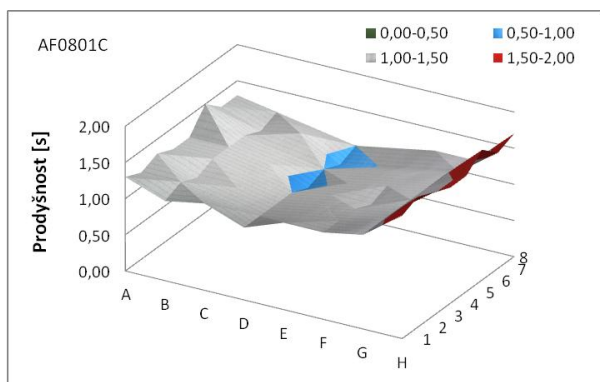


Obr. 75: PAD Ortex – kalandr., 1000 Pa

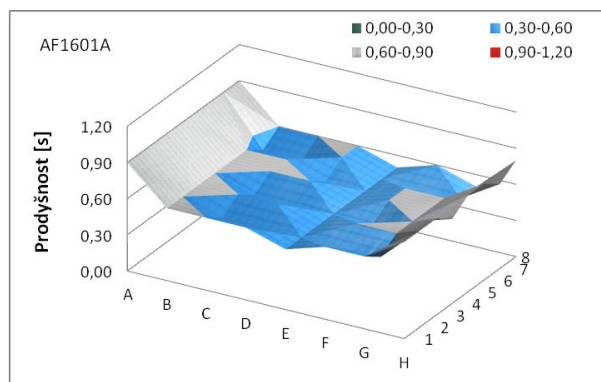


Obr. 76: PAD Ortex – kalandr., tlakový spád 1000 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku

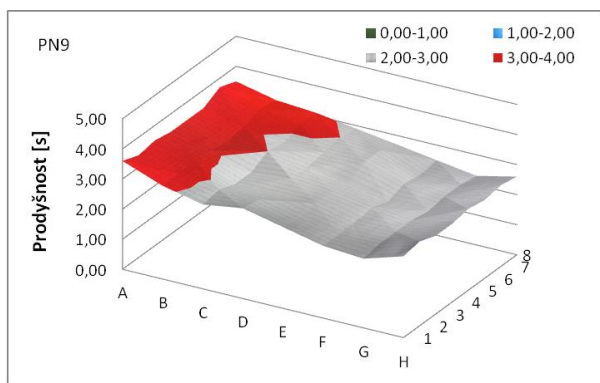
Na obr. 66-70 je pomocí 3D grafů znázorněna variabilita prodyšnosti měřená na Porozimetru, vyjádřená v sekundách. Byla zde ověřována shodnost rozmístění variability s variabilitou zjištěnou pomocí hodnot z přístroje FX 3300.



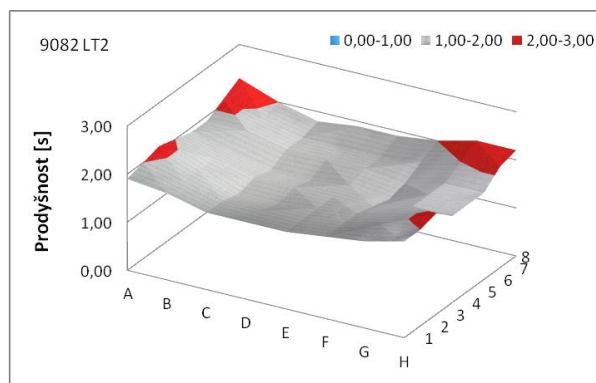
Obr. 77: Prodyšnost naměřená na Porozimetru, AF0801C



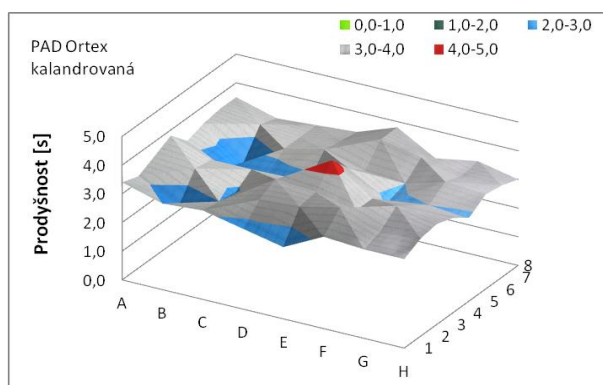
Obr. 78: Prodyšnosti naměřená na Porozimetru, AF1601A



Obr. 79: Prodyšnosti naměřená na Porozimetru, PN9



Obr. 80: Prodyšnosti naměřená na Porozimetru, 9082 LT2



Obr. 81: Prodyšnosti naměřená na Porozimetr. PAD Ortex – kalandrovaná

Nejvyšší prodyšnost mezi kalandrovanými tkaninami byla naměřena na vzorku AF1601A, které odpovídá hodnota 0,63s, nejnižší prodyšnost byla naměřena na vzorku Ortex z PA66 s hodnotou 3,25s. Při měření prodyšnosti surových tkanin byly hodnoty mimo rozsah měření přístroje. Porozimetr není schopen naměřit hodnotu prodyšnosti tkanin, která je menší než 4 s (*resp. větší než 162,34 l/m²/s*). Pro účel testování padákových tkanin je rozsah přístroje postačující, jelikož padákové tkaniny mají zpravidla hodnoty prodyšnosti velmi nízké.

Při hodnocení závislosti mezi Porozimetrem a přístrojem FX 3300 byla zjištěna lineární závislost mezi naměřenými daty s hodnotou spolehlivosti pohybující se okolo $R^2=0,8$. Při porovnávání průměrných hodnot ve směru osnovy a útku byla zjištěna u většiny vzorků silnější závislost ve směru útku, kdy byla u vzorků zaznamenána větší rozdíly mezi hodnotami (viz tab. 14,15). Ve směru osnovy, kdy byla zjištěna nižší variabilita hodnot, je závislost mnohem slabší. Tento jev je pravděpodobně zapříčiněn nižší citlivostí přístroje, díky níž data z porozimetru ne zcela odpovídají přesnějším hodnotám z přístroje FX 3300. U tkaniny PAD Ortex byla zaznamenána slabá závislost mezi naměřenými hodnotami, pokud ale porovnáváme průměrné hodnoty prodyšnosti po osnově a útku, data mají hodnotou pravděpodobnosti ve směru osnovy $R^2=0,884$ a ve směru útku $R^2= 0,7151$. V tabulce 20 jsou dále uvedeny korelační koeficienty, kdy nejnižší a ve směru útku nepřímá korelace byla zjištěna u tkaniny AF1801C. Pro ostatní tkaniny byla zjištěna korela s hodnou cca $r=0,9$.

3.9.3. Hodnocení statické a dynamické prodyšnosti na MPT 01

3.9.3.1. Hodnocení statické prodyšnosti padákových tkanin

Prvním bodem této zkoušky bylo srovnávací měření statické prodyšnosti vzorků. Dalším bodem bylo zjišťování korelace hodnot z MPT 01 s hodnotami naměřenými na přístroji FX 3300.

Plocha zkoušeného vorku byla 20 cm², při statickém hodnocení prodyšnosti byla zaznamenávaná hodnota při tlakovém rozdílu 1500 Pa (+/- 10 Pa). Schéma odběru vzorků (rozmístěný měřených buněk) vychází ze schématu dle interní normy č. 33-302-01/01 (viz obr. 44). V tomto případě byly testované pouze 3 řádky vytvořené sítě (2., 4. a 6.), pro každou tkaninu bylo tedy naměřeno 24 hodnot. Prodyšnosti v rámci celé sítě bodů (64 hodnot) byla otestována na vzorku PN9.

V tabulce 20 jsou uvedeny průměrné hodnoty prodyšnosti komerčních tkanin naměřené na přístroji MPT 01 v porovnání s hodnotami naměřenými na přístroji FX 3300 při shodném tlakovém rozdílu. V tabulce 21 jsou uvedeny průměrné hodnoty prodyšnosti ve směru osnovy vzorku PN9. V tabulce 22 jsou uvedeny korelační koeficienty pro porovnání přístrojů.

Na (obr. 82 a 84) je znázorněna závislost hodnot mezi MPT 01 a FX 3300 pro vzorek AF1601A (matice 3x8) a pro vzorek PN9 (matice 8x8). Na (obr. 83 a 85) je pro stejné vzorky znázorněna závislost průměrných hodnot ve směru osnovy a útku.

Tabulka 21: Porovnání průměrných hodnoty prodyšnosti vybraných vzorků, tlakový rozdíl 1500 Pa

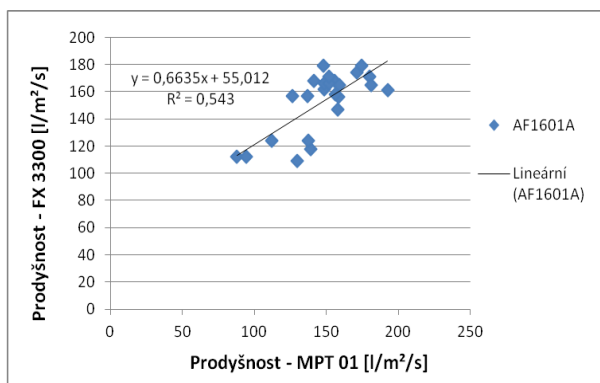
	AF0801C	AF1601A	PN9	9082
MPT 01 Prodyšnost [l/m ² /s]	89,59 <76,37;85,50>	149,98 <141,50;160,07>	45,85 <46,10;56,05>	61,45 <55,95;65,01>
FX 3300 Prodyšnost [l/m ² /s]	90,64 <87,43;90,85>	151,28 <145,52;157,04>	45,83 <44,59;47,07>	60,61 <59,11;62,11>

Tabulka 22: Statická prodyšnosti vzorku PN9 měřená na MPT 01, tlakový rozdíl 1500 Pa (+/-10)

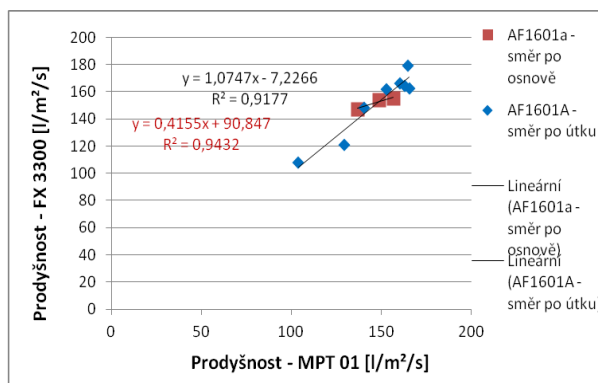
PN9	A	B	C	D	E	F	G	H
průměr	52,6775	58,96125	62,76125	65,185	68,765	68,54125	79,1525	70,09125
směr. odchylka	12,05016	11,24971	11,85047	13,88332	14,36081	8,824676	17,94302	18,38885
rozptyl	145,2065	126,5561	140,4337	192,7466	206,2327	77,87491	321,9521	338,1497
horní mez	61,02768	66,75676	70,97306	74,80547	78,71635	74,65633	91,58615	82,83384
dolní mez	44,32732	51,16574	54,54944	55,56453	58,81365	62,42617	66,71885	57,34866
95% IS	16,70037	15,59102	16,42361	19,24095	19,9027	12,23015	24,86731	25,48517

Tabulka 23: Korelace mezi hodnotami z přístroje MPT 01 a FX 3300

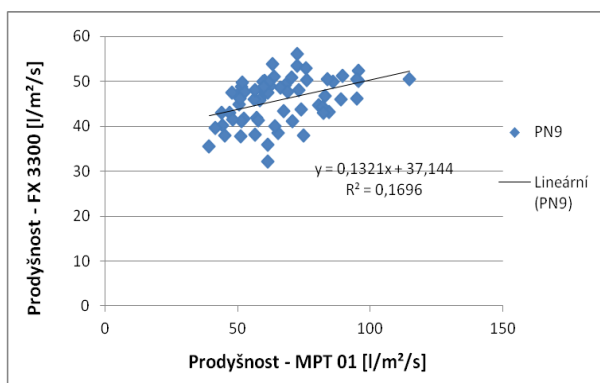
	AF0801C	AF01601A	PNP	9082 LT2
r ve směru útku	0,87	0,96	0,92	0,47
r ve směru osnovy	-0,95	0,912	0,70	0,99



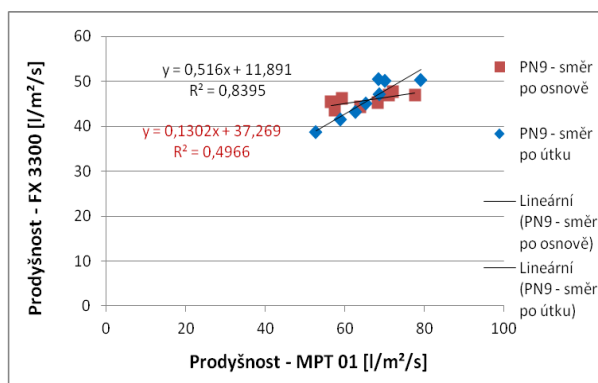
Obr. 82: Vzorek AF1601A, tlakový rozdíl 1500 Pa



Obr. 83: Vzorek AF1601A, tlakový rozdíl 1500 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku



Obr. 84: Vzorek PN9 tlakový rozdíl 1500 Pa



Obr. 85: Vzorek PN9, tlakový rozdíl 1500 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku

Na začátku testování se ukázalo, že hlavice pro upnutí vzorku pro tento typ tkanin s velmi malou tloušťkou dostatečně netěsnění. Proto bylo provedeno nové měření, kdy bylo do upínacích čelistí přidáno provizorní těsnění s cílem minimalizace úniku vzduchu do okolí. (Porovnání naměřených hodnot bez těsnění a s přidáním těsnění je pro vzorek PN9 uvedeno v příloze 5).

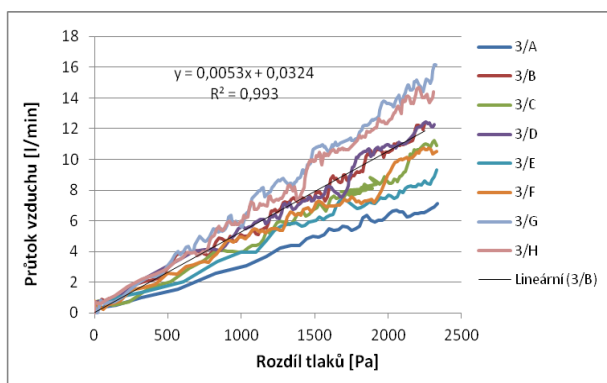
Vlivem nezajištění standardních podmínek testování, možným únikem vzduchu a odchylkou tlakového rozdílu +/-10 Pa, u přístroje MPT 01 byla závislost mezi daty z přístroje FX 3300 velmi nízká. Závislost mezi průměrnými hodnotami ve směru osnovy a útku je o něco vyšší (viz obr. 72,74). V tabulce 23 jsou uvedeny pro další porovnání přístrojů uvedeny korelační koeficienty. Nejnížší korelace byla zaznamenána v útkovém směru u tkaniny 9082 LT2, u tkaniny AF0801 byla ve směru osnovy zaznamenána silná záporná korelace, která značí nepřímou závislost mezi hodnotami. U ostatních tkanin byla zaznamenána silná přímá závislost mezi daty. Také celkové průměrné hodnoty jsou poměrně přesné (viz. tab. 21).

3.9.3.2. Hodnocení dynamické prodyšnosti padákových tkanin

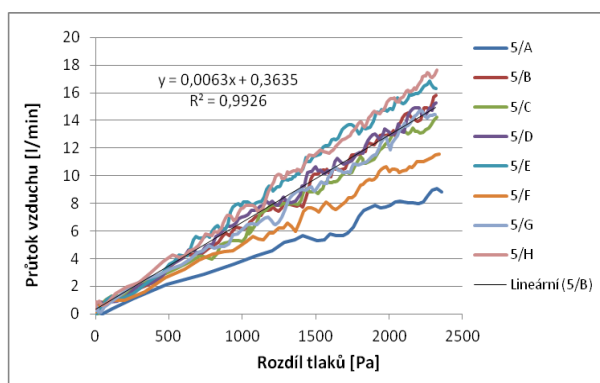
Podstatou této zkoušky bylo testování dynamické prodyšnosti, tedy sledování změny prodyšnosti vlivem zvyšujícího se proudění vzduchu v průběhu času. V rámci tohoto testování byla sledována také změna výšky vyduť vzorku. Dále byla sledována závislost mezi prodyšností a vyduť vzorku.

Plocha zkoušeného vorku byla 20 cm², měření bylo provedeno při tlakovém rozdílu 0 - 2300 Pa (+/- 10Pa). Na přístroji bylo nastaveno experimentální testování se zadanou směrnici přímky pro plynulé zvyšování průtoku vzduchu s hodnotou 0,003. Schéma odběru vzorků (rozmístění měřených buněk) vychází ze schématu dle interní normy č. 33-302-01/01 (viz obr. 49). Testování bylo provedeno po celé ploše tkaniny, celkem tedy bylo proměřeno 64 míst.

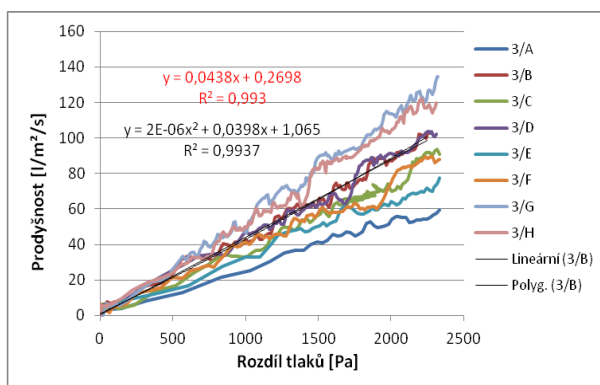
Testování dynamické prodyšnosti bylo provedeno na vzorku PN9. Průběh měření je zaznamenán na obr. 86-91, kde jsou zobrazeny hodnoty pro 3. a 5. řádek sítě bodů. Ostatní řádky matice jsou uvedeny v příloze 5, data se v jednotlivých řádcích chovala obdobně.



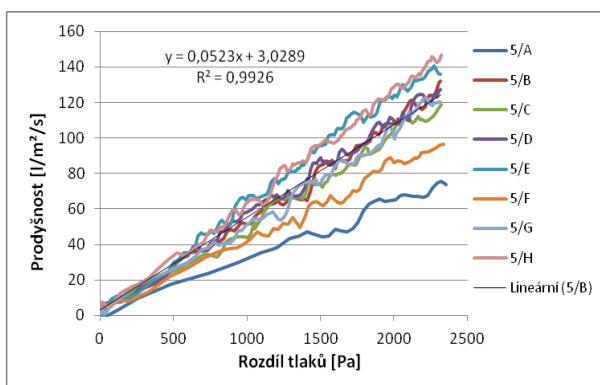
Obr. 86: PN9 (3.řádek) – závislost průtoku vzduchu na rozdílu tlaků



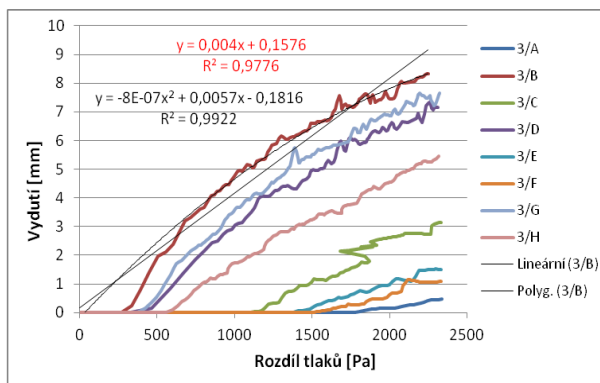
Obr. 87: PN9 (5.řádek) – závislost průtoku vzduchu na rozdílu tlaků



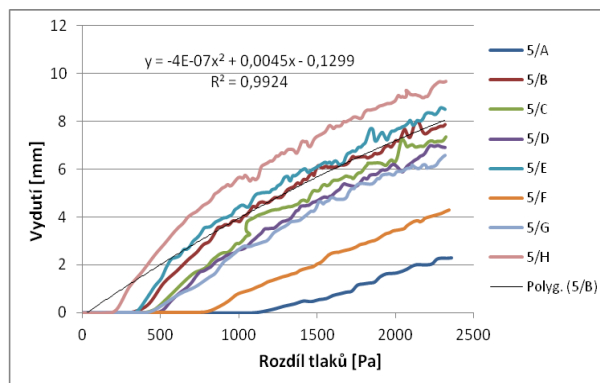
Obr. 88 PN9 (3. řádek) – závislost prodyšnosti na zvyšování tlak. rozdílu



Obr. 89: PN9 (5. řádek) – závislost prodyšnosti na zvyšování tlak. rozdílu



Obr. 90: PN9 (3. řádek) – závislost vydutí vzorku na zvyšování tlak. rozdílu



Obr. 91: PN9 (5. řádek) – závislost vydutí vzorku na zvyšování tlak. rozdílu

V rámci testování dynamické prodyšnosti byla nejprve ověřována závislost mezi postupným zvyšováním průtoku vzduchu (který byl ovládán regulátorem napětí s nastavenou směrnici 0,003) a zvyšováním tlakového rozdílu. Tuto závislost dobře popisuje lineární regresní přímka s koeficientem $R^2=0,0993$. Poté byla zkoumána závislost prodyšnosti na změně tlakového rozdílu (obr. 88.,89.), tuto závislost, stejně jako u přístroje FX 3300, nejlépe vystihuje lineární regrese ve tvaru kvadratické křivky (polynom 2. stupně) s koeficientem regrese $R^2=0,9937$, ale i v tomto případě lze pro posis dle koeficientu $R^2=0,993$ použít pouze lineární regresní přímku.

Při zkoumání závislosti mezi zvyšováním tlaku a vydutím vzorku byl zaznamenán podobný trend, jako o prodyšnosti (obr. 90.,91.). Kvadratická funkce má hodnotu regresního koeficientu $R^2=0,9922$, regresní přímka zde o něco nižší, $R^2=0,9776$. Je zde také vidět, že k vydouvání vzorku dochází až po dosažení určitého tlakového rozdílu pro danou prodyšnost měřené oblasti.

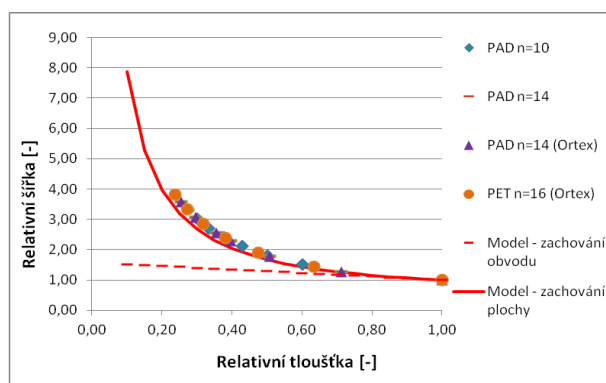
V rámci testování prodyšnosti padákových tkanin je metoda hodnocení dynamické prodyšnosti vhodnější z hlediska možnosti pozorování chování tkaniny v průběhu zvyšování proudu vzduchu. Pro další testování padákových tkanin je nutná úprava hlavice pro upínání vzorků s vyšší těsností pro tenké textilie. Návrhem pro další testování padákových tkanin je měření dynamické prodyšnosti při vyšších tlacích (které odpovídají reálným tlakům při otevření padáku). A dále testování simulovaného chování padákových tkanin v praxi, tzn. testování nárazové změny vysokého proudu vzduchu, vlivem kterého dojde k nárazovému zvýšení barometrického tlaku působícího na tkaninu a tím také pravděpodobně (z hlediska dosažených výsledků) ke změně prodyšnosti.

4. Výsledky predikce vlastností padákových tkanin

V této části byly pro teoretický výpočet jednotlivých vlastností použity vztahy navržené v kapitole 2 a ověřovány na souboru experimentálně naměřených dat.

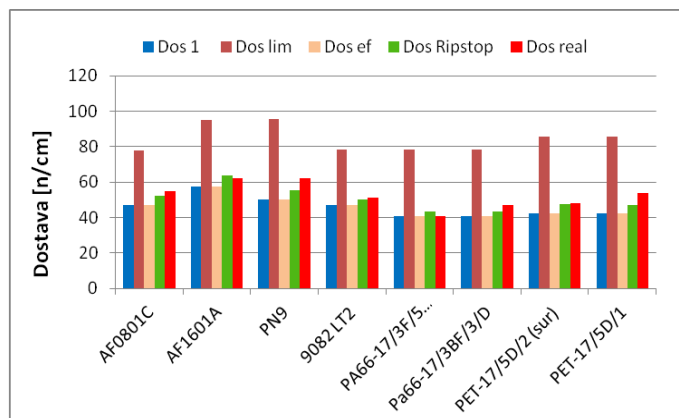
4.4. Ověření navržených vztahů

Na obr. 92 je zobrazen vztah mezi relativní šířkou a tloušťkou multifilu při jeho postupném zploštění. Do grafu jsou vyneseny hodnoty zploštění vycházející z reálných tkanin, kde je vidět, že se blíží modelu o zachování plochy multifilu.



Obr. 92: Ověření hypotéz zploštění dle Neckáře

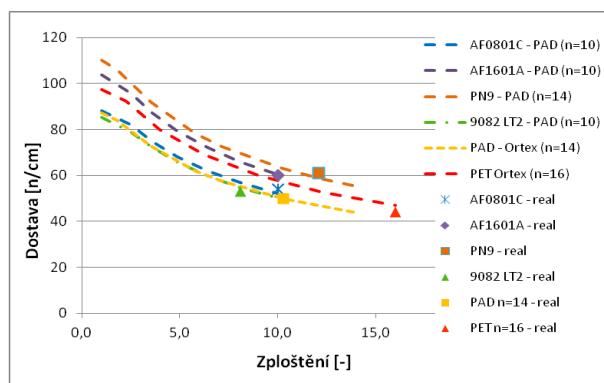
Na obr. 93 je znázorněno porovnání hodnot vypočítaných dostav dle uvedených vztahů (viz. návrh) v porovnání s reálnou dostavou (osnovy) vzorků padákových tkanin. Reálné dostavě se nejvíce blíží navržený vztah pro ripstopovou vazbu. Ve vztazích pro predikci vlastností tkanin je proto dále dosazována tato dostava.



Obr. 93: Porovnání jednotlivých vztahů pro výpočet dostavy v porovnání s dostavou reálných tkanin

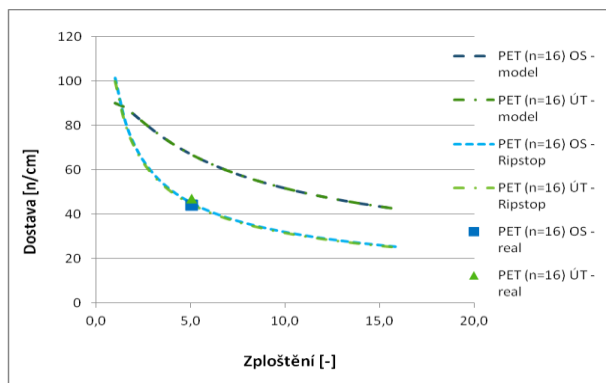
Na obr. 94 jsou zobrazeny kalandrované padákové tkaniny a model chování jejich dostavy vlivem zploštění multifilu dle navrženého vztahu pro ripstopovou vazbu. Při nižší dostavě dochází k většímu

zploštění multifilu. Pro ověření modelu jsou zde vyneseny hodnoty experimentálně zjištěných dostav k odpovídající hodnotě zploštění. U tkanin z multifilů o deseti vláknech dosáhlo zploštění maximální hodnoty (viz. obr. 43c), u multifilů o více vláknech (např. obr. 43h) bylo zjištěno zploštění menší. Míra zploštění je zde ovlivněna dostavou nití, kalandrovací úpravou a také napětím osnovních a útkových nití při tkacím procesu. Odhad zploštění pro danou hodnotu dostavy byl ověřován dle snímků příčných řezů tkaninami.

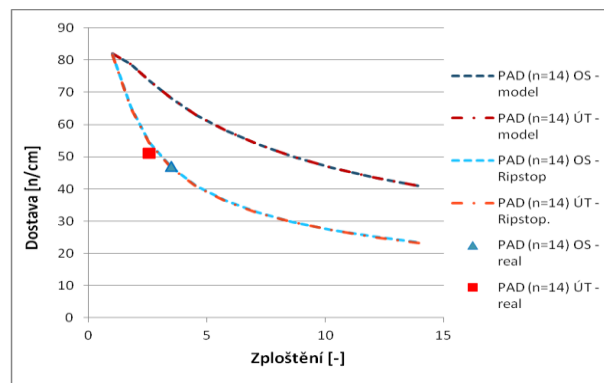


Obr. 94: Závislost mezi zploštěním multifilu a dostavou

Na obr. 95 a 96 je zobrazeno chování dostavy v závislosti na zploštění multifilu surových tkanin. Je zde také porovnání teoretického modelu pro odhad dostavy tkaniny plátňové vazby s modelem pro odhad dostavy tkaniny s vazbou ripstop. Bylo zjištěno, že modely se poměrně liší. Pro ověření modelů jsou zde vyneseny reálné hodnoty experimentálně zjištěných dostav v závislosti na reálném stupni zploštění (viz. obr. 44e,k) kde je vidět, že leží na křivce modelu pro odhad dostavy vycházející z ripstopové vazby. Tento model se tedy z hlediska přesnosti jeví pro praktické využití predikce dostavy padákových tkanin jako vhodnější.

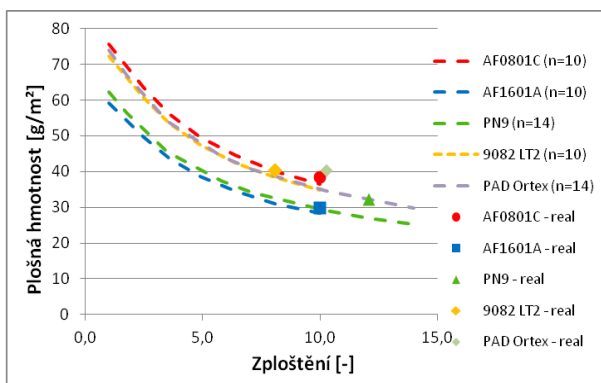


Obr. 95: Vliv zploštění multifilu na dostavu surové PET padákové tkaniny

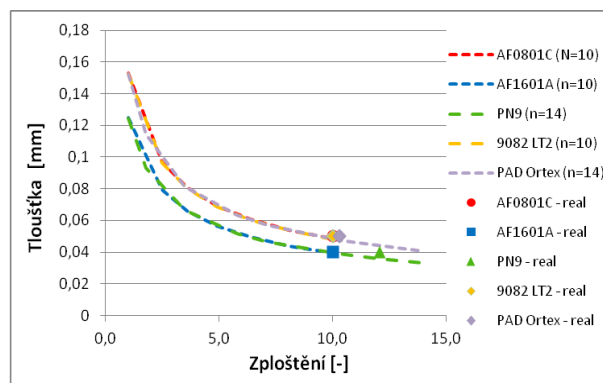


Obr. 96: Vliv zploštění multifilu na dostavu surové PAD padákové tkaniny

Plošná hmotnost tkanin v závislosti na zploštění multifilu klesá (obr. 97), reálné hodnoty vynesené do grafu jsou modelovým křivkám poměrně blízko. Vlivem zploštění multifilu klesá také tloušťka tkanin (obr. 98), reálné hodnoty zde leží přímo na modelových křivkách teoretických hodnot.

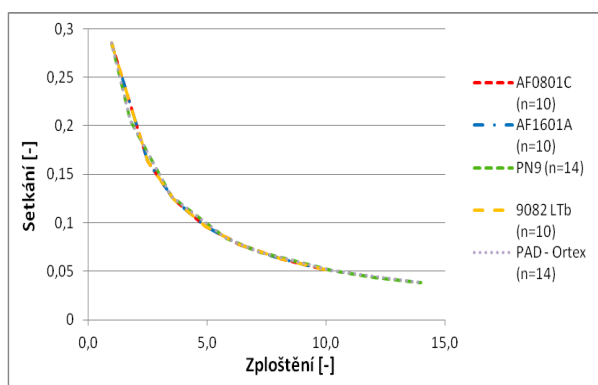


Obr. 97: Vliv zploštění na plošnou hmotnost tkanin

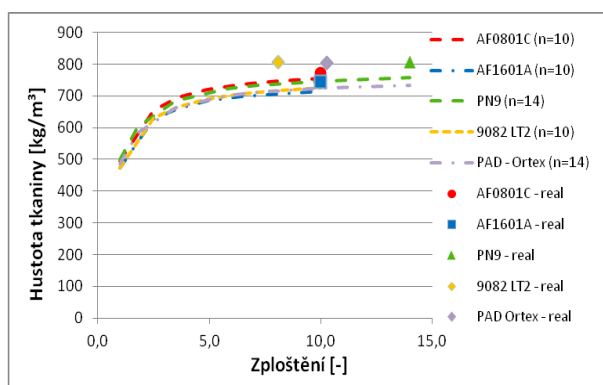


Obr. 98: Vliv zploštění na tloušťku tkanin

Míra zploštění multifilu má vliv také na setkání a hustotu tkanin. Vliv zploštění na setkání je zobrazen na (obr. 99), kde je vidět, že s větším zploštěním multifilu se setkání snižuje. Tento jev je způsoben tím, že při zploštění multifilu dochází k jeho rozšíření (přesuvu jednotlivých vláken do roviny) a tím ke zmenšení úhlu ve vazné vlně při provazování nití. Při větším zploštění multifilu tedy dochází k menšímu zkrácení provazující nitě, tedy k nižšímu setkání. Pro různé tkaniny se zde dle modelu hodnota setkání nemění. Na (obr. 100) je zobrazen vliv zploštění na hustotu tkaniny, kde je vidět, že se zvětšujícím se zploštěním multifilu se hustota tkanin zvyšuje.

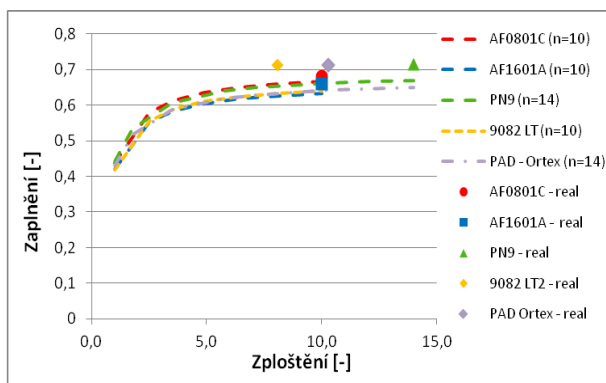


Obr. 99: Vliv zploštění multifilu na setkání

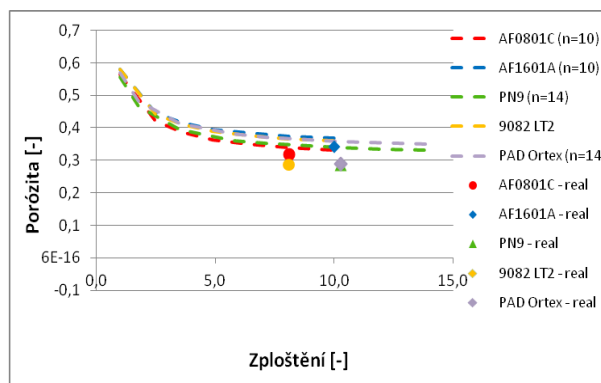


Obr. 100: Vliv zploštění multifilu na hustotu tkanin

S hustotou tkaniny souvisí také její zaplnění. Na (obr. 101) je vidět, že stejně jako hustota i zaplnění tkanin s roustoucím zploštěním multifilu roste. Na (obr. 102) je zobrazen vliv zploštění na porozitu tkanin. Porozita je vyjádřena jako doplněk k objemovému zaplnění tkanin, vlivem zploštění tedy klesá.



Obr. 101: Vliv zploštění multifilu na zaplnění tkanin



Obr. 102: Vliv zploštění multifilu na porozitu tkanin

Při ověřování navržených vztahů byl prokázán vliv zploštění multifilu na sledované strukturní parametry tkanin. V první části, kdy byl sledován vliv dostavy na zploštění multifilu bylo zjištěno, že má význam použít přesnější odhad dostavy dle navrženého vztahu pro riptostopovou vazbu (obr. 93). Hodnoty dostavy vycházející z jednoduché plátňové vazby byly nižší a vzhledem k tomu, že ostatní vlastnosti jsou dostavou ovlivněny, byl do dalších výpočtů použit přesnější odhad dostavy.

Z dalších výpočtů bylo zjištěno, že se zploštěním multifilu klesá hodnota plošná hmotnosti a tloušťky tkanin. Při maximálním zploštění bylo dosaženo nejvyšší hustoty a zaplnění a tedy i teoreticky nejnížší porozity. Při konstrukci padákových tkanin, by tedy měly být voleny takové vstupní parametry (případně výrobní postupy), které umožní maximální zploštění multifilu.

4.5. Predikce vlastností padákových tkanin dle navržených vztahů

Pomocí navržených vztahů, vycházejících ze zploštění multifilu, byly predikovány vlastnosti padákových tkanin – plošná hmotnost, tloušťka tkaniny, porozita, prodyšnost. Do vztahů byly dosazovány různé parametry vstupní suroviny (multifilu) pro výrobu tkanin. Byla sledována změna vlastností tkanin vlivem použitého materiálu PAD 6.6, PET (o různé měrné hmotnosti), vlivem různé jemnosti multifilu ($T = 4,44, 3,33, \text{ a } 2,22 \text{ tex}$), vlivem počtu vláken v multifilu ($n = 10, 12, 14, 16, 18$) a vlivem změny počtu nití ve střídě vazby, byla použita velikost střídě 14+2*2, 16+2*2 a 18+2*2.

V tabulce 24 jsou uvedeny výsledky predikce vlastností pro multifil z PAD 6.6 o jemnosti 2,22 tex, do výpočtů je zde dosazena velikost střídě 14+2*2. Předpokladem pro výpočty je zde shodná velikost střídě vazby ve směru osnovy a útku, shodná dostava ve směru osnovy a útku a také stejné podmínky výroby. V tabulce 25 jsou uvedeny výsledky za stejných parametrů (jemnost multifilu, počty vláken) pro multifil z PET.

Tabulka 24: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, T=2,22 tex, střída 14+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Jemnost vlákna t [tex]	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12
Průměr vlákna [mm]	0,0158	0,0144	0,0133	0,0125	0,0118
Průměr multifilu [mm]	0,0525	0,0525	0,0525	0,0525	0,0525
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_{\bar{u}}$	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2
Dostava [nití/1cm]	65	60	56	53	50
Rozteč A [mm]	0,174	0,88	0,201	0,213	0,224
Délka nitě lo [mm]	0,040	0,038	0,035	0,034	0,032
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	30,20	27,78	25,86	24,29	22,97
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,039	0,036	0,033	0,031	0,029
Hustota tkaniny []	763,82	769,68	773,87	777,001	779,44
Objemový podíl [-]	0,678	0,681	0,684	0,688	0,691
Porozita [%]	32,4	31,9	31,5	31,2	31,0

Tabulka 25: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, T=2,22 tex, střída 14+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Jemnost vlákna t [tex]	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12
Průměr vlákna [mm]	0,0144	0,0132	0,0122	0,0114	0,0107
Průměr multifilu [mm]	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_{\bar{u}}$	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2
Dostava $D_o=D_{\bar{u}}$ [nití/1cm]	71	66	62	58	55
Rozteč A [mm]	0,159	0,171	0,183	0,194	0,204
Délka nitě lo [mm]	0,037	0,034	0,032	0,031	0,029
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	33,13	30,48	28,37	26,65	25,20
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,036	0,033	0,030	0,285	0,268
Hustota tkaniny []	919,28	926,34	931,38	935,16	938,09
Objemový podíl [-]	0,676	0,681	0,684	0,688	0,691
Porozita [%]	32,4	31,9	31,5	31,2	31,0

Nejnižších hodnot predikovaných vlastností bylo dosaženo při použití multifilů s nejvyšším počtem vláken (zde n=18) při jeho maximálním zploštění (zde zploštění 1. stupně, dále 2. stupně atd.) a při nejmenší hodnocené střídě vazby (14+2*2). Tyto výsledky jsou pro různé jemnosti multifilu uvedeny v tabulce 26 pro multifil z PAD 6.6, v tabulce 27 pro multifil z PET.

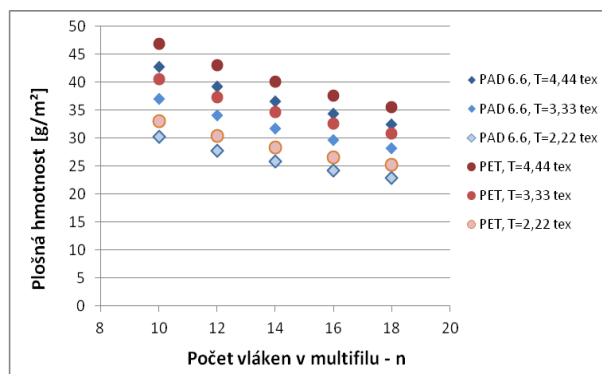
Tabulka 26: Vybrané vlastnosti tkanin ovlivněné zploštěním (1.stupně/2.stupně) PAD 6.6 multifilů

PAD 6.6 14+2*2/14+2*2	Dostava ($D_o=D_u$) [nití/10cm]	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka tkaniny [mm]	Porozita [%]
T=4,44 [tex], n=18	35/37	32,48/34,29	0,042/0,044	31,0/31,2
T=3,33 [tex], n=18	41/43	28,13/29,69	0,036/0,038	31,0/31,2
T=2,22 [tex], n=18	50/53	22,97/24,25	0,029/0,031	31,0/31,2

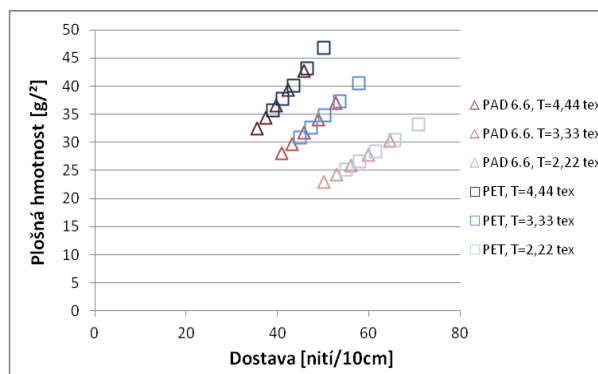
Tabulka 27: Vybrané vlastnosti tkanin ovlivněné zploštěním (1.stupně/2.stupně) PET multifilů

PET 14+2*2/14+2*2	Dostava ($D_o=D_u$) [nití/10cm]	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka tkaniny [mm]	Porozita [%]
T=4,44 [tex], n=18	39/41	35,64/37,62	0,038/0,040	31,0/31,2
T=3,33 [tex], n=18	45/47	30,86/32,58	0,033/0,035	31,0/31,2
T=2,22 [tex], n=18	55/58	25,20/26,60	0,027/0,028	31,0/31,2

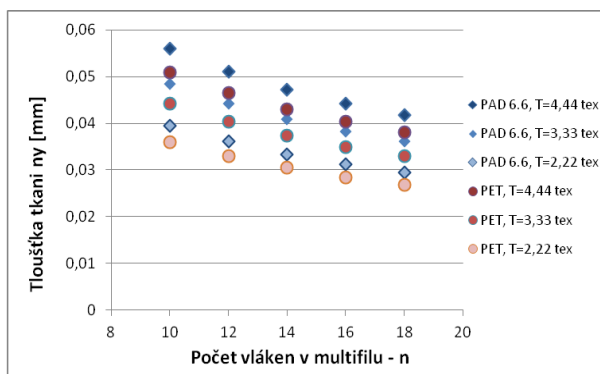
Pro teoretickou tkaninu o střídě vazby 14+2*2 (za předpokladu $D_o=D_u$) je na (obr. 103, 105, 107, 109) graficky znázorněn vliv zvyšujícího se počtu vláken v multifilů na různé parametry tkaniny. Na (obr. 104, 106, 108) je zobrazen vliv dostavy na vlastnosti tkanin a na (obr. 109 a 110) je pro plošnou hmotnost a porozitu porovnání vazby o střídě 14+2*2 a 18+2*2.



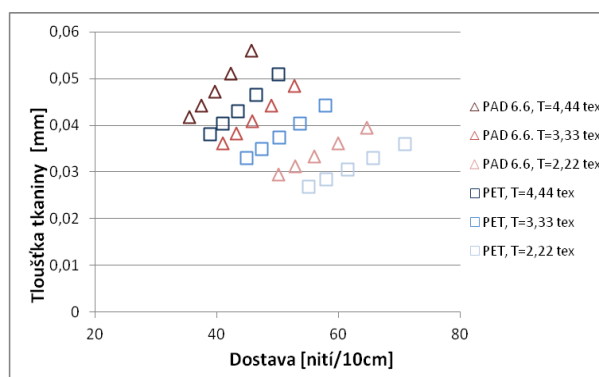
Obr. 103: Vliv počtu vláken na plošnou hmotnost tkanin, střída vazby 14+2*2



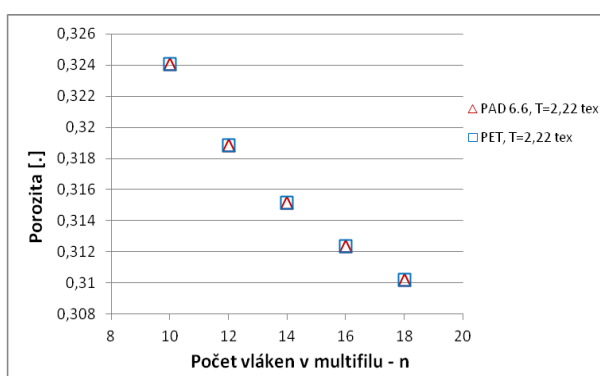
Obr. 104: Vliv dostavy na plošnou hmotnost tkanin, střída vazby 14+2*2



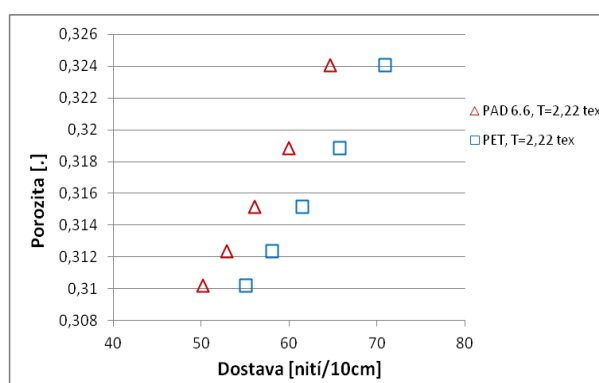
Obr. 105: Vliv počtu vláken na tloušťku tkanin, střída vazby 14+2*2



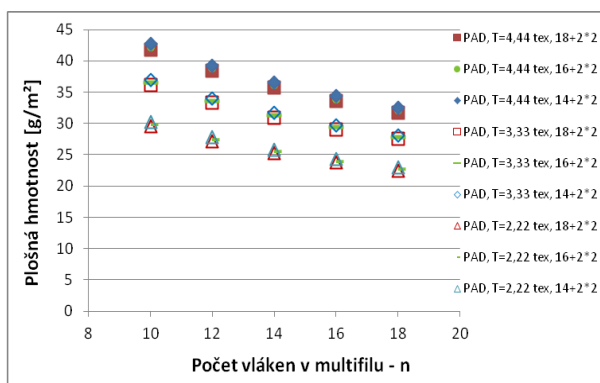
Obr. 106: Vliv dostavy na tloušťku tkanin, střída vazby 14+2*2



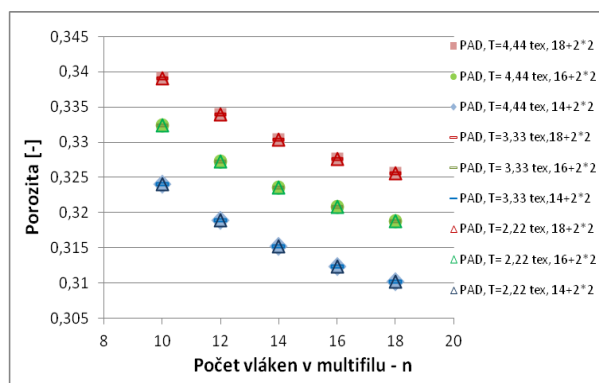
Obr. 107: Vliv počtu vláken na porozitu tkaniny, střída vazby 14+2*2



Obr. 108: Vliv dostavy na porozitu tkaniny, střída vazby 14+2*2



Obr. 109 Vliv počtu vláken na plošnou hmotnost – porovnání různě velkých stříd vazby



Obr. 110: Vliv počtu vláken na porozitu, porovnání různě velkých stříd vazby

Pro možnost predikce prodyšnosti byly ověřovány dva modely vycházející z teorie průchodu tekutiny porézní hmotou. Lineární Kozeny-Carman model (vycházející z Darcyho zákona) a kvadratický Ergunův model. Z lineárního modelu (rovnice N21) byl s užitím experimentálně zjištěných parametrů pro jednotlivé vzorky určen koeficient $\delta D_p/\mu$, výsledky jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 28: Výsledky koeficientů lineárního modelu

	AF0801C	AF1601A	PN9	9082 LT2	PAD Ortex
Parametr a_1	0,058	0,0944	0,015	0,0408	0,02424
Tloušťka tkaniny [m]	0,00005	0,00004	0,00004	0,00005	0,000047
Porozita [-]	0,318	0,347	0,286	0,288	0,251
Koeficient $\delta D_p/\mu$	7,17268E-10	6,58971E-10	4,69532E-10	7,40302E-10	6,9000E-10

Výsledky neznámých parametrů neukázaly přímou souvislost s hodnotou porozity. V těchto parametrech tedy pravděpodobně figurují ještě další neznámé jevy, které se prozatím nepodařilo objasnit.

Tyto vztahy byly primárně určeny pro filtraci tekutin nebo pro prosakování vody v horninách. Jejich aplikace pro popis vlastností textilií není dostatečně definována. Existují modely zahrnující souhrnné koeficienty pro komplexní vlastnosti tkaniny, je však obtížné vyjádřit jednotlivé prvky, jako je uváděný hydraulický průměr D_p , nebo také porozita ϵ , jejíž teoretický odhad může zahrnovat značné odchylky.

5. Závěr

Náplní diplomové práce bylo studium geometrické struktury padákových tkanin a testování jejich prodyšnosti. V rámci hodnocení struktury je kladen důraz na sledování zploštění multifilů ve tkanině a jeho vlivu na výsledné vlastnosti padákových tkanin. Při hodnocení prodyšnosti bylo provedeno měření na třech měřicích zařízeních, kde bylo cílem jednotlivé přístroje porovnat a okomentovat jejich vhodnost pro tento typ tkanin. Diplomová práce vznikala souběžně s vývojem nové padákové tkaniny z PET. Motivací bylo najít vhodné parametry PET tkaniny, které by byly srovnatelné s tkaninami z PAD 6.6.

První část rešerše byla věnována historii padáků, byly zde popsány různé druhy padáků a materiály používané pro výrobu padákových tkanin. Je zde uvedeno srovnání vlastností PAD 6.6. a PET vláken. Pro výrobu padákových tkanin je používán nejčastěji multifil z PAD 6.6., který je vzhledem k PET o něco pevnější a zároveň vyniká nižší měrnou hmotností. Výhodou PET je především jeho nižší navlhavost. Byla popsána struktura multifilu, studováno bylo především jeho zploštění ve vazném bodě, a struktura tkanin. Dále byla studována prodyšnost, její základní vyjádření a byly posány také některé predikční modely.

Poznatky z teoretické části práce dále vedly k hledání souvislostí mezi zploštěním multifilu a vlastnostmi padákových tkanin. A jelikož práce vznikala současně s vývojem nové tkaniny, vedly tyto poznatky k navržení teoretických vztahů pro predikci vlastností tkanin, jako je plošná hmotnost, tloušťka, hustota, setkání a především porozita tkanin, které vycházejí právě ze zploštění multifilu.

Struktura multifilu byla pozorována na pořízených snímcích podélných pohledů a příčných řezů, kde bylo možné sledovat zploštění multifilu ve vazných bodech. Bylo zjištěno, že u multifilů s menším počtem vláken (nejmenší počet zde bylo 10 vláken) došlo k maximálnímu zploštění multifilu. Při vyšším počtu vláken (nejvyšší počet zde bylo 16 vláken) k maximálnímu zploštění multifilu nedošlo, vlákna zůstala ve dvou až ve třech řadách nad sebou. Z těchto poznatků bylo dále vycházeno do predikčních vztahů.

V rámci experimentu byla hodnocena především prodyšnost tkanin, která byla měřena na třech měřicích zařízeních. Jedním z dílčích výsledků zde bylo zhodnocení závislosti mezi prodyšností a tlakovým spádem, kdy byly testovány dva používané modely. Lineární regresní model, který je aproximován regresní přímkou a kvadratický model, který je aproximován křivkou polynomu 2. stupně (speciální případ lineární regrese). Z výsledků bylo ověřeno, že lze použít oba modely, nicméně z hlediska dosažené přesnosti postačuje použití i pouze lineárního modelu. V rámci testování prodyšnosti byla sledována také její rovnoměrnost v ploše. Hodnoty měření vykazovaly určitý trend nerovnoměrnosti vzhledem od krajů tkanin k jejich středu. U kalandrovaných tkanin byla v krajích zaznamenána většinou prodyšnost nižší a směrem ke středu tkaniny se prodyšnost zvyšuje. U surových tkanin byl trend opačný. Stejně rozložení nerovnoměrnosti bylo zaznamenáno také například v práci (66), nejedná se tedy o ojedinělý jev. Nicméně toto zjištění může mít u padákových tkanin značný význam. Vzhledem k výsledkům u kalandrovaných a surových tkanin, je evidentní, že vyšší prodyšnost ve středu tkanin vzniká až při finálních úpravách. Proto by bylo vhodné zamyslet se nad revidováním výrobních postupů výroby tkanin, zejména kalandrování. Vzhledem ke zjištěné

nerovnoměrnosti by měla být také upravena interpretace výsledků, která by lépe vypovídala o rozložení prodyšnosti.

Při porovnávání použitých měřicích přístrojů byla hodnocena korelace mezi naměřenými hodnotami. Při porovnání Porozimetru se standardním přístrojem pro testování prodyšnosti - FX 3300 byla korelace mezi jednotlivými hodnotami poměrně nízká. Vzhledem k tomu, že přístroj měří prodyšnost v sekundách (kdy jsou uváděny hodnoty s přesností pouze na jedno desetinné místo) může být tato nízká korelace způsobena nižší citlivostí přístroje. Při porovnání průměrných hodnot ve směru osnovy a útku byla korelace vyšší a celkové průměrné hodnoty prodyšnosti tkanin byly srovnatelné. Mezi výsledky byla tedy zaznamenána značné rozdíly, nicméně interpretaci celkové průměrné hodnoty prodyšnosti (která ale nevypovídá o variabilitě), je u přístroje přístroj postačující.

Při hodnocení prodyšnosti na zařízení MPT 01 nebyly zajištěny standardní testovací podmínky, byla nutná úprava hlavice s vyšším těsněním pro tenké tkaniny, proto ani korelace jednotlivých hodnot v porovnání s hodnotami naměřenými na přístroji FX 3300 nebyla příliš vysoká. V rámci porovnání průměrných hodnot ve směru osnovy a útku byla korelace opět vyšší a celkové průměrné hodnoty jsou srovnatelné. Na přístroji MPT 01 byla navíc hodnocena dynamická prodyšnost a výška vyduť plochy vzorku. Výsledky ukázaly, že čím je tkanina méně prodyšná, tím dochází k většímu vyduť vzorku. U méně prodyšných tkanin tedy dochází k větším tlakům působícím na tkaninu, proto by měly mít odpovídající pevnost.

V závěrečné části experimentu byly ověřovány navržené vztahy pro teoretickou predikci vlastností padákových tkanin v závislosti především na zploštění multifilu. Do vztahů byly dosazovány parametry multifilů testovaných tkanin, z nichž byly teoreticky vypočítány vybrané vlastnosti – dostava, plošná hmotnost, tloušťka, setkání, hustota tkanin, zaplnění a porozita. Výsledné teoretické hodnoty byly vyneseny do grafů v závislosti na postupném zploštění odpovídajícího multifilu, kde bylo sledováno chování jednotlivých vlastností vlivem zploštění. Do grafů byly následně vyneseny experimentálně naměřené hodnoty, pomocí nichž byla ověřena platnost navržených vztahů. Z výpočtů bylo zjištěno, že míra zploštění multifilu výrazně ovlivňuje sledované vlastnosti. Vlivem hodnoty zploštění multifilu klesaly hodnoty plošné hmotnosti a tloušťky, zvyšovala se naopak hustota tkanin a jejich zaplnění, což vedlo ke snižování porozity. Míra zploštění ovlivňuje také dostavu, kdy čím nižší je dostava, tím je umožněno vyšší zploštění multifilu (při určitém vyvíjeném tlaku na tkaninu, napětím nití, a také finální kalandrovací úpravou). Pro tento trend vývoje porozity nesmí být ale dostava nižší než je její hodnota při maximálním zploštění multifilu. Při překročení této minimální hodnoty dostavy, by se sice stále snižovala plošná hmotnost tkaniny, ale trend u porozity by se vyvíjel opačným směrem. Ve struktuře tkaniny by docházelo k mezerám mezi nitěmi a tím by se porozita zvyšovala.

Uvedený model byl následně použit pro predikci vlastností padákových kalandrovaných tkanin s použitím různých parametrů multifilu. Z výsledků bylo zjištěno, že hodnoty plošné hmotnosti, tloušťky a porozity tkanin klesají s vyšším počtem vláken v multifilu. U padákových tkanin jsou určité požadavky na plošnou hmotnost a porozitu. Z toho hlediska byly vyhodnoceny vhodné parametry pro tkaninu z PAD 6.6 i PET multifilu.

Dalším dílčím výsledkem bylo zhodnocení vybraných teoretických modelů pro predikci prodyšnosti. Z lineárního modelu (dle Kozeny-Carman) závislosti prodyšnosti a tlakového spádu byl vyjádřený

neznámé parametry a experimentálně pomocí regrese byl vyjádřen lineární člen rovnice. Nicméně po dosazení známých (experimentálně zjištěných) parametrů nebylo dosaženo uspokojujících výsledků. Tyto dva zkoumané modely byly primárně určeny pro popis filtrace tekutin nebo pro vysvětlení prosakování vody v horninách, proto je jejich použití na textilní porézní materiály je nutná další modifikace modelů. Byl studován i další model (dle Ogulaty), který vychází z tvaru mezitných pórových buněk. Bylo obtížné tento model aplikovat na kalandrované multifilové tkaniny, jelikož póry v těchto tkaninách (vzhledem ke zploštění multifilů) jsou především mezi vlákny.

Seznam použité literatury

- [1] PAŠEK, Petr. Neklidná obloha: historie parašutismu stará pět tisíc let. Praha: NV, 1970, 171 s. Mars.
- [2] Historie seskoků. In: Tandem2: Tandemové seskoky a seskoky padákem [online]. [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <https://www.tandem2.cz/historie-seskoku/>
- [3] MAYER, Jan. Historical Review: An Introduction to Deployable Recovery Systems. In: ParachuteHistory.com: Historical Review [online]. 2003, 1985 [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <http://www.parachutehistory.com/eng/drs.html>
- [4] EARLY HISTORY OF PARACHUTING. In: AUSTRALIAN PARACHUTE FEDERATION LTD [online]. [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <https://www.apf.com.au/APF-Zone/APF-Information/History-of-the-APF/Early-History-of-Parachuting/default.aspx>
- [5] Faust Vrančić - "otec parašutizmu" a Praha. In: Chorvatsko [online]. 31.10.2007 [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: https://www.chorvatsko.cz/tema/faust_vrancic.html
- [6] PLOS A KOLEKTIV, Richard. *Paragliding: Moderní učebnice létání s padákovými kluzáky*. 4. Cheb: Svět Křidel, 2008. ISBN 978-80-86808-47-5.
- [7] Frenchman Louis-Sébastien Lenormand made the first recorded public parachute jump on December 26, 1783: Parachute. In: Redlegagenda [online]. 26.12.2016 [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <https://redlegagenda.com/2016/12/26/frenchman-louis-sebastien-lenormand-made-the-first-recorded-public-parachute-jump-on-december-26-1783/>
- [8] Death by Falling from the Clouds' in Leeast. In: Running Past: South East London History on Foot [online]. [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <https://runner500.wordpress.com/2015/02/18/death-by-falling-from-the-clouds-in-lee/>
- [9] KEMPSHALL, Chris. Don't Look Down – Parachutes in the First World War. In: The first world war: east sussex [online]. 2014 [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <http://www.eastsussexww1.org.uk/dont-look-parachutes-first-world-war/>
- [10] NAS Quonset Point, Rhode Island and NAS Key West. In: NAVAL AIR STATION FORT LAUDERDALE MUSEUM [online]. 2010 [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <https://www.nasflmuseum.com/david-epstein.html>
- [11] ÇİTOĞLU, F. a B. EŞL.: Parachute Fabric and Its Manufacturing Process. *International Journal of Science, Environment and Technology*,. 2017, (5), 3214-3324. ISSN 2278-3687.
- [12] SALUNKHLE, Govind N. Requirements of Parachute Fabrics. In: Textile centre [online]. India [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <http://textilecentre.blogspot.com/2013/07/requirements-of-parachute-fabric.html>
- [13] LAA Česká Republika [online]. [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/Stranky/Default.aspx>
- [14] DVOŘÁK, Petr. *Paragliding manuál: pro piloty padákových kluzáků*. Cheb: Svět křidel, 2003. ISBN 80-852-8092-2
- [15] What's the reason for keeping a hole in the center of a parachute. In: Here Be Answers [online]. [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <http://www.herebeanswers.com/2010/07/reason-for-keeping-hole-in-parachute.html>
- [16] Konstrukce - padákový kluzák. *Elspeedo: Učte se s námi PARAGLIDIN on-line* [online]. 2014 [cit. 2018-02-04]. Dostupné z: <http://www.eparagliding.cz/cs/seznam/14-perfektni-starty/141-konstrukce-padakovy-kluzak>
- [17] BECKER, Sarah. Experimental Study of Paraglider Aerodynamics. London, 2017. Master of Science Thesis. Imperial College London.
- [18] Technologie. *Sky Paragliders* [online]. [cit. 2018-02-04]. Dostupné z: <https://sky-cz.com>
- [19] Jak vybrat záložní padák. *Easy Fly* [online]. [cit. 2018-09-16]. Dostupné z: <http://www.easyfly.cz/jak-vybrat-zalozni-padak>
- [20] Manufacturing Process: From thread to fabric roll. [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.porcher-sport.com/en/manufacturing-process.html>
- [21] [Brochures: From thread to fabric roll] [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.porcher-sport.com/en/brochures.html>
- [22] KEA 2: Materials [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://sky-cz.com/kea2>
- [23] Defence Fabrics. In: Eldare Fabrics [online]. [cit. 2018-09-26]. Dostupné z: <https://www.paragonelpar.biz/wp-content/uploads/2016/12/parachute1.jpg>
- [24] Konzultace s pilotem paraglidového padáku

- [25] NĚMEC, M.: *Proč padák letí* [online]. 2017 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://sky-cz.com/novinka-proc-padak-leti>
- [26] MILITKÝ, J.: Woven Fabrics Surface Quantification, chap.5 in book Woven fabrics, Publisher: InTech, May 2016, ISBN 978-953-51-0607-4.
- [27] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. [2. vydání]. V Liberci: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [28] Parachute: Raw Materials. In: How Products Are Made [online]. [cit. 2018-09-26]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-5/Parachute.html>
- [29] DUCHÁČEK, V.: *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [30] N66-20D-A Ripstop: Nylon 66 Parachute Fabric. *JWTEDEC* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.jwtextec.com/index.php?c=content&a=list&catid=287>
- [31] Fibers: products. *NILIT* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.nilit.com/fibers/products.asp>
- [32] NECKÁŘ, B.: Příze: Tvorba, struktura, vlastnosti. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990, 449 s. ISBN 80-03-00213-3.
- [33] NECKÁŘ, B.: *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. V Liberci: Technická univerzita, 1998. ISBN 80-7083-318-1. Učebnice vysokých škol.
- [34] DRAŠAROVÁ, J.: Tvorba a vyhodnocení řezů příze ve vazném bodě tkaniny. STRUTEX, 1998, TU Liberec
- [35] BEHERA, B.K., J. MILITKÝ, R. MISHRA a KŘEMENÁKOVÁ D.: *Modeling of Woven Fabrics Geometry and Properties*. Inga University: Intech Open, 2012. ISBN 978-953-51-0607-4.
- [36] MRAZÍKOVÁ, Irena. *Vazby tkanin listové: základní, odvozené a složené*. Vyd. 2. upr. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. Učební texty pro bakalářská studia. ISBN 80-708-3627-X.
- [37] BEDNÁŘ, V. a S. SVATOŠ: *Vazby a rozbory tkanin I pro 3. ročník středních průmyslových škol studijního oboru Textilní technologie*: (alternativní blok: Tkalcovství). Praha: SNTL, 1989.
- [38] Ripstop: Plain weave. *TENGIVA* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://tengiva.com/textile/woven/plain-weave/ripstop/>
- [39] KOVÁŘ, R.: *Modely tkaniny: Geometrie osy nitě a deformace průřezu*. STRUTEX. Struktura a strukturální mechanika textilií. 6. Národní konference, 1999.
- [40] RICHTEROVÁ, J.: *Korekce Peirceova modelu vazné vlny*. STRUTEX. Struktura a strukturální mechanika textilií. 8. Národní konference, 2001.
- [41] KOLČAVOVÁ SIRKOVÁ, B.: *Možnosti popisu vazné vlny ve tkanině*. STRUTEX. Struktura a strukturální mechanika textilií. 8. Národní konference, 2001.
- [42] DRAŠAROVÁ, J.: *Geometrické modely tkaniny plátnové vazby, idealizace a realita*. STRUTEX. Struktura a strukturální mechanika textilií. 6. Národní konference, 1999.
- [43] OLOFFSON, B.: *Textile Institute*, 55, 1964, s.541
- [44] PIERCE, F.TH.: *Textile Research Journal*. 17, 1947, s. 123
- [45] KRUPINCOVÁ, G., H. JANÁČKOVÁ a KŘEMENÁKOVÁ D.: *Stlačování přízí mezi dvěma rovnoběžnými deksami*. Strutex. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001, 79-85. ISBN 80-7083-549-4.
- [46] DRAŠAROVÁ, J.: Deformace příčného řezu délkové textilie ve vazném bodě tkaniny. *Strutex*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2000, 127-133. ISBN 80-7083-442-0.
- [47] KOVÁŘ, R.: *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. Vyd. 1. V Liberci: Technická univerzita, 2003, s. ISBN 80-708-3676-8.
- [48] KEMP, A. *Journal Textile Institut*, 49, 1958, s. 44
- [49] STANĚK, J. *Nauka o textilních materiálech*. Díl I, část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií. Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988.
- [50] NOSEK, S.: *Struktura a geometrie tkanin*. VÚB, Ústí nad Orlicí. 1974
- [51] SODOMKA, L. a VARGOVÁ H.: Jednoduchá teorie součinitele setkání a zvlnění tkanin. *STRUTEX: Struktura a strukturní mechanika textilií: 8. mezinárodní konference*. Liberec: TU Liberec, 2001, s. 157-162. ISBN 80-7083-549-4.
- [52] KOVÁŘ, R.: *Teorie tvorby plošných textilií*. Internetové skriptum, FT TUL. Liberec, 2009.
- [53] KOLČAVOVÁ SIRKOVÁ, B.: *Systém projektování "příze - tkanina"*. Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci 2004
- [54] KOVÁŘ, R.: *Teorie tvorby plošných textilií*. Internetové skriptum, FT TUL. Liberec, 2009.
- [55] MARKOVÁ, M.: *Hodnocení vlivu vazby tkaniny na hodnotu její prodyšnosti*. Liberec: TUL, 2013, Diplomový práce.

- [56] ŠAFAŘÍKOVÁ, A.: *Vztah mezi strukturou a prodyšností multifilových tkanin*. Liberec: TUL, 2012.
- [57] VESELÁ, D.: *Experimentální metoda pro hledání souvislostí mezi prodyšností a strukturální změnou textilie*. Liberec: TUL, 2016, Disertační práce.
- [58] BACKER, S.: *The Relationship Between the Structural Geometry of a Textile Fabric and Its Physical Properties*. Part IV: Interstice Geometry and Air Permeability. Textile Research Journal, October 1951, s. 703 – 714. ISSN 0040-5175.
- [59] HAVRDOVÁ, M.: *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin*. Liberec: TUL, 2004, Disertační práce, 120 s., 21 s. Příl.
- [60] GOOIJER, H., M.M.C.G. WARMOESKERKEN a WASSINK J.G.: Flow resistance of textile materials - Part II: Multifilament fabrics. Textile Research Journal. 2003, Vol. 73, No. 6, s. 480-484. ISSN 0040-5175.
- [61] HAVLOVÁ, N.: *Vztah mezi porositou tkaniny a její propustností pro vzduch a vodní páry*. Liberec: TUL, 2016, Diplomová práce.
- [62] MILITKÝ, J., M. VIK a M. VIKOVÁ: *Neural Network for Air Permeability Predictio*. 4 th International Conference Innovation and Modelling of Clothing Engineering Process. Liberec: Technická Univerzita v Liberci, 2003.
- [63] OGULATA, R.T.: *Air Permeability of Woven Fabric*. Journal of Textile and Apparel: Technology and Management. Adana - Turkey: NC State University, 2006, 5(2).
- [64] HOUŠKOVÁ, V.: *Studie a metody měření prodyšnosti plošných textilií*. Liberec: TUL, 2006, Diplomová práce.
- [65] VESELÁ, D.: *Souvislosti mezi prodyšností a strukturální změnou textilie*. Liberec: TUL, 2016, Disertační práce.
- [66] HAVLOVÁ, M.: *Model of Vertical Porosity Occurring in Woven Fabrics and its Effect on Air Permeability*. Fibres & Textiles, Vol. 22, 4(106), TU v Liberci, 2014.
- [67] BUČKOVÁ, P.: *Faktory ovlivňující prodyšnost a její měření*. Liberec: TUL, 2009, Bakalářská práce.
- [68] NOVOTNÁ, J.: *Propustnost tkanin z multifilu v závislosti na struktuře*. Liberec: TUL, 2008, Diplomová práce.
- [69] BLAŽEJOVSKÁ, I.: *Vliv finální úpravy na prodyšnost tkaniny při současném sledování její rovnoměrnosti v ploše*. Liberec: TUL, 2013, Diplomová práce.
- [70] SHAKANKERY, M.H.E., M.H. KASEM a M.E. AL-EBIARY.: *Predicting Air Permeability of Nylon Parachute Fabrics*. International Design Journal. 7(2).
- [71] ČSN EN ISO 9237. *Textilie: Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [72] TextTest Instruments [online]. *Zařízení pro měření prodyšnosti FX 3300-PNA* [vid.2.1.2016] dostupné na: <http://www.texttest.ch/en/FX3300-PNA.html>.
- [73] Texttest Instrument. *Zařízení pro měření prodyšnosti FX 3300 Lab Air*. Manuál dostupný na Katedře hodnocení textilií - Technická univerzita v Liberci.
- [74] Cruz, J. R., O'Farrell, C., Hennings, E., Runnell, P.: *Permeability of Two Parachute Fabrics - Measurements, Modeling and Applications*, AIAA AVIATION Forum, 24th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference 5-9 June 2017, Denver, Colorado
- [75] BACKER, Stanley. *The Relationship Between the Structural Geometry of a Textile Fabric and Its Physical Properties*. Part IV: Interstice Geometry and Air Permeability. Textile Research Journal, October 1951, s. 703 – 714. ISSN 0040-5175.
- [76] XIAO, X., X. ZENG, P. BANDARA and A. LONG.: *Experimental Study of Dynamic air Permeability for Woven Fabrics*, Textile Research Journal. 2012, Vol. 82, No. 9, s. 920-930. ISSN 0040-5175.
- [77] GNIOTEK, K.: *Dynamic Permeability of Textiles*. Fibres & Textiles in Eastern Europe. 1996, Vol. 4, No 2 (13), s. 54-55. ISSN 1230-3666.
- [78] BANDARA P., C. LAWRENCE a M. MAHMOUDI: *Instrumentation for the measurement of fabric air permeability at higher pressure levels*. Measurement Science and Technology. 2006, Vol. 17, No. 8, s. 2247–2255. ISSN: 0957-0233.
- [79] ŠINDELKOVÁ, L.: *Hodnocení vztahu mezi prodyšností a strukturou tkaniny*: Liberec: TUL, 2007, Diplomová práce.
- [80] GIBSON, P.W, K. DESABRAIS a T. GODFREY: *Dynamic Permeability of POrous Elastic Fabrics*. Journal of Engineered Fibers and Fabrics: Development, and Engineering Center. United States, 2012.
- [81] KOZENY, J.: *Ueber kapillare Leitung des Wassers im Boden*. Sitzungsber Akad. Wiss., Wien, 136(2a): 271-306, 1927.

- [82] CARMAN, P. C.: *Fluid flow through granular beds*. Transactions, Institution of Chemical Engineers, London, 15: 150-166, 1937.
- [83] ERGUN, S.: *Fluid flow through packed columns*. Chem. Eng. Prog. 48 (1952).
- [84] KŘEMENÁKOVÁ, D., R., MISHRA, J. MILITKÝ a ŠESTÁK, J.: *Selected topics of textile and material science: Spatial statistics and surface uniformity of nonwovens*. Pilsen: Publishing House of WBU, 2011. ISBN 978-80-261-0062-1.
- [85] MELOUN, M. a MILITKÝ, J.: *Statistická analýza experimentálních dat: treaties and international agreements registered or filed and recorded with the Secretariat of the United Nations*. Vyd. 2., upr. a rozš. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
- [86] AMIRNASR, E., E. SHIM, B.Y. YEOM a POURDEYHIMI, B.: *Basis weight uniformity analysis in nonwovens*. The Journal of The Textile Institute. USA, 2013, **105**(4), 444-453. DOI: 10.1080/00405000.2013.820017. ISSN 0040-5000. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00405000.2013.820017>
- [87] CHHABRA, R., E. SHIM, B.Y., YEOM a POURDEYHIMI, B.: *Nonwoven Uniformity — Measurements Using Image Analysis*. International Nonwovens Journal. USA, 2018, **os-12**(1), 444-453. DOI: 10.1177/1558925003os-1200112. ISSN 1527-2494. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1558925003os-1200112>
- [88] The Porozit: The ultimate paraglider porosimeter. *Hello Porozit* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://www.porosimeter.hu/>
- [89] VALAŠEK, Štefan. Porozita 2. In: Sky Fly [online]. [cit. 2018-09-27]. Dostupné z: <https://www.skyfly.cz/zajimavo/porozita07.htm>
- [90] HRBATOVÁ, J.: *Analýza vlivů působení UV záření na kvalitu švů u záchranných padáku firmy Mars*. Liberec: TUL, 2006, Diplomová práce.
- [91] MARTINOVSKÁ, V.: *Požadovaná pevnost spoje u výroby padáku pro paragliding a jiné možnosti vytvoření spoje materiálu*. Liberec: TUL, 2009, Diplomová práce.
- [92] JEŘÁBKOVÁ, J.: *Povrchové charakteristiky polákových tkanin*. Liberec: TUL, 2008, Diplomová práce.
- [93] KODYDKOVÁ, Š.: *Současné trendy v metodách hodnocení prodyšnosti textilií*. Liberec: TUL, 2008, Diplomová práce.
- [94] Č. 33-302-01/01. *Interní norma: Hodnocení prodyšnosti tkanin*. Liberec: Výzkumné centrum textil, 2003.
- [95] ČSN EN ISO 5084. *Textilie: Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [96] ČSN EN ISO 12127. *Textilie: Plošné textilie - Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

Seznam obrázků

Obr. 1 Nákres padáku Leonarda da Vinci [4] , Obr. 2: Model padáku Leonarda da Vinci[5]	15
Obr. 3: Seskok Fausta Veranezia z Benátské věže [11].....	17
Obr. 4: L. S. Lenormande při seskoku z observatoře v Montpellier (1783) [7]	18
Obr. 5: První bezrámový padák od André Garnerina z roku 1779 [7].....	18
Obr. 6 Záznam pádu R. Cockinga na novém typu padáku „Pampeliška“ [8]	19
Obr. 7: Kotelnikov se svým padákem RK-1 připevněným na zádech (1911) [14]	20
Obr. 8: Připínací systém padáku vycházející z kotelníkovy konstrukce, patent Floyd Smith (1919) [14]	20
Obr. 9: Vojenský parašutista 1. Světové války [9]	20
Obr. 10: Vojenští parašutisté 2. Světové války [10]	21
Obr. 11: Současný kruhový typ padáku [15].....	23
Obr. 12 Nákres kruhového padáku [12]	23
Obr. 13: Ovladatelný seskokový padák obdélníkového tvaru ze 70. let [16]	24
Obr. 14: Obecný popis parašutistického padáku [17]	24
Obr. 15: Paraglidový kluzák od firmy Sky Paragliders [18]	25
Obr. 16: Základní popis paraglidového kluzáku [6]	25
Obr. 17: Struktura padákové tkaniny [23]	26
Obr. 18: Strukturní vzorek PET [29]	28
Obr. 19: Strukturní vzorek PAD 6.6 [29]	29
Obr. 20: Substanční a reálný průměr vlákna [34]	32
Obr. 21: Plástvová struktura multifilu	32
Obr. 22: Základní vazby [36].....	35
Obr. 23: Odvozená plátňová vazba – Ryps a speciální vazba ripstop [36] [38]	35
Obr. 24: Ollofsonův model vazné vlny [39]	36
Obr. 25: Peircův model vazné vlny [39]	36
Obr. 26: Korigovaný Peirceův model dle Richterové [40].....	37
Obr. 27: Tvar příčného řezu multifilu [46]	37
Obr. 28: Kempův průřez.....	38
Obr. 29: Model vazné vlny s Kempovým průřezem vláken [47].....	38
Obr. 30: Setkání nití ve tkanině [36]	40
Obr. 31: Zvlnění nití ve tkanině [50]	41

Obr. 32: Beckerovy typy pórových buněk [58],	43
Obr. 33: Kolmý průmět pórů dle Gooijera [60].....	43
Obr. 34: Model vertikálního eliptického póru dle Havlové M. [66].....	45
Obr. 35: Porézní struktura tkaniny plátnové vazby [Ogul].....	49
Obr. 36: Vertikální řez tkaninou [Ogul]	50
Obr. 37: Rozložení měřených míst pro analýzu rozptýlů.....	51
Obr. 38: Rozložení rovnoměrnosti ploše dle disperzního indexu [86].....	52
Obr. 39: Měřicí přístroj FX 3300 [41]	53
Obr. 40: Měřicí přístroj porozimetr - POROZIT.....	54
Obr. 41: Postupné zploštění multifilu	56
Obr. 42: Zjednodušený předpoklad provázání multifilů ve tkanině	57
Obr. 43: Snímky tkanin z rastrovacího mikroskopu Tescan Vega.....	63
Obr. 44: Snímky komerčních tkanin ze systému obrazové analýzy	64
Obr. 45: Snímky tkanin Ortex ze systému obrazové analýzy	64
Obr. 46: Porovnání plošné hmotnosti vzorků.....	66
Obr. 47: Porovnání tloušťky vzorků	66
Obr. 48: Vliv hustoty tkanin na jejich porozitu	66
Obr. 49: Schéma sítě pro hodnocení prodyšnosti.....	67
Obr. 50: Průměrná prodyšnost tkanin při různém tlakovém rozdílu.....	68
Obr. 51: Prodyšnost tkanin PET Ortex (tlak. rozdíl 200 Pa)	69
Obr. 52: Prodyšnost tkanin PA66 Ortex (tlak. rozdíl 200 Pa)	69
Obr. 53: Závislost změny prodyšnosti na tlakovém rozdílu	70
<i>Obr. 54: Závislost změny prodyšnosti na tlakovém rozdílu</i>	<i>70</i>
Obr. 55: 3D graf prodyšnosti vzorku AF0801C, 200 Pa.....	73
Obr. 56: 3D graf prodyšnosti vzorku AF1601A, 200 P	73
Obr. 57: 3D graf prodyšnosti vzorku PN9, 200 Pa.....	73
Obr. 58: 3D graf prodyšnosti vzorku 9082 LT2 200 Pa	73
Obr. 59: 3D graf prodyšnosti vzorku PAD Ortex - kalandrovaný , 200 Pa	73
Obr. 60: 3D graf prodyšnosti vzorku PAD Ortex - surový, 200 Pa	73
Obr. 61: 3D graf prodyšnosti vzorku PET Ortex – po praní a fixaci, 200 Pa.....	74

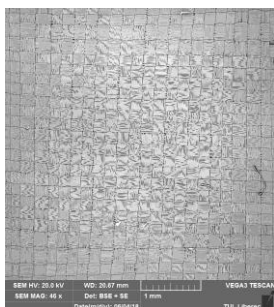
Obr. 62: 3D graf prodyšnosti vzorku PET Ortex - surový, 200 Pa	74
Obr. 63: 3D graf prodyšnosti vzorku AF0801C,	74
Obr. 64: 3D graf prodyšnosti vzorku PAD Ortex - kalandrovaný , 2000 Pa	74
Obr. 65: 3D zobrazení prodyšnosti kalandrovaných tkanin	75
Obr. 66: Porovnání prodyšnosti komerčních tkanin měřené na přístroji Porozimetru.....	76
Obr. 67: AF0801C, tlakový spád 1000 Pa.....	77
Obr. 68: AF0801C, tlakový spád 1000 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku.....	77
Obr. 69: AF0801C, přepočet na tlakový spád 200 Pa	78
Obr. 70: AF0801C, přepočet na tlakový spád 2000 Pa	78
Obr. 71: 9082 LT2, tlakový spád 1000 Pa	78
Obr. 72: 9082 LT2, tlakový spád 1000 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku.....	78
Obr. 73: 9082 LT2, přepočet na tlakový spád 200 Pa.....	79
Obr. 74: 9082 LT2, přepočet na tlakový spád 2000 Pa	79
Obr. 75: PAD Ortex – kalandr., 1000 Pa	79
Obr. 76: PAD Ortex – kalandr., tlakový spád 1000 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku.....	79
Obr. 77: Prodyšnost naměřená na Porozimetru, AF0801C.....	79
Obr. 78: Prodyšnosti naměřená na Porozimetru, AF1601A.....	79
Obr. 79: Prodyšnosti naměřená na Porozimetru, PN9	80
<i>Obr. 80: Prodyšnosti naměřená na Porozimetru,</i>	<i>80</i>
Obr. 81: Prodyšnosti naměřená na Porozimetr. PAD Ortex – kalandrovaná	80
<i>Obr. 82: Vzorek AF1601A, tlakový rozdíl 1500 Pa</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 83: Vzorek AF1601A, tlakový rozdíl 1500 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku</i>	<i>82</i>
Obr. 84: Vzorek PN9 tlakový rozdíl 1500 Pa	82
Obr. 85: Vzorek PN9, tlakový rozdíl 1500 Pa, průměrné hodnoty ve směru osnovy a útku	82
Obr. 86: PN9 (3.řádek) – závislost průtoku vzduchu na rozdílu tlaků.....	83
Obr. 87: PN9 (5.řádek) – závislost průtoku vzduchu na rozdílu tlaků.....	83
Obr. 88 PN9 (3. řádek) – závislost prodyšnosti na zvyšování tlak. rozdílu	83
Obr. 89: PN9 (5. řádek) – závislost prodyšnosti na zvyšování tlak. rozdílu	83
Obr. 90: PN9 (3. řádek) – závislost vydutí vzorku na zvyšování tlak. rozdílu.....	84
Obr. 91: PN9 (5. řádek) – závislost vydutí vzorku na zvyšování tlak. rozdílu.....	84

Obr. 92: Ověření hypotéz zploštění dle Neckáře	85
Obr. 93: Porovnání jednotlivých vztahů pro výpočet dostavy v porovnání s dostavou reálných tkanin.....	85
Obr. 94: Závislost mezi zploštěním multifilu a dostavou.....	86
Obr. 95: Vliv zploštění multifilu na dostavu surové PET padákové tkaniny	86
Obr. 96: Vliv zploštění multifilu na dostavu surové PAD padákové tkaniny	86
Obr. 97: Vliv zploštění na plošnou hmotnost tkanin	87
Obr. 98: Vliv zploštění na tloušťku tkanin	87
Obr. 99: Vliv zploštění multifilu na setkání.....	87
Obr. 100: Vliv zploštění multifilu na hustotu tkanin	87
Obr. 101: Vliv zploštění multifilu na zaplnění tkanin.....	88
Obr. 102: Vliv zploštění multifilu na porozitu tkanin.....	88
Obr. 103: Vliv počtu vláken na plošnou hmotnost tkanin, střída vazby 14+2*2	90
Obr. 104: Vliv dostavy na plošnou hmotnost tkanin, střída vazby 14+2*2	90
<i>Obr. 105: Vliv počtu vláken na tloušťku tkanin, střída vazby 14+2*2.....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 106: Vliv dostavy na tloušťku tkanin, střída vazby 14+2*2</i>	<i>91</i>
Obr. 107: Vliv počtu vláken na porozitu tkaniny, střída vazby 14+2*2.....	91
Obr. 108: Vliv dostavy na porozitu tkaniny, střída vazby 14+2*2	91
Obr. 109 Vliv počtu vláken na plošnou hmotnost – porovnání různě velkých stříd vazby.....	91
Obr. 110: Vliv počtu vláken na porozitu, porovnání různě velkých stříd vazby.....	91
Obr. 111: Závislost prodyšnosti na tlakovém rozdílu, AF1601A.....	110
Obr. 112: Závislost prodyšnosti na tlakovém rozdílu, PN9	110
Obr. 113: Závislost prodyšnosti na tlakovém rozdílu, 9082 LT2.....	110

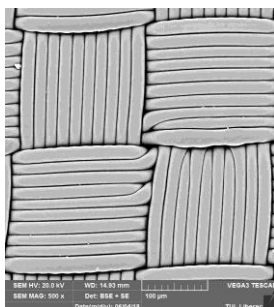
Přílohy

1. Příloha 1 – Snímky podélných pohledů a příčných řezů

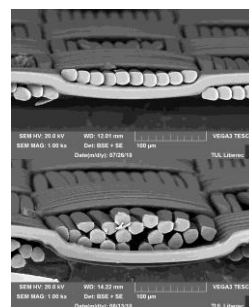
AF0801C (n=10)



a) Líc

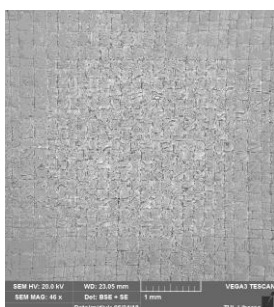


b) Rub

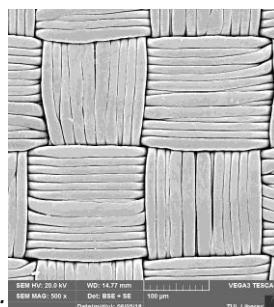


c) Příčný řez (osnova)

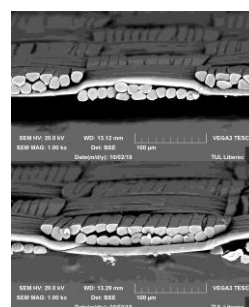
PN9 (n=14)



g) Líc

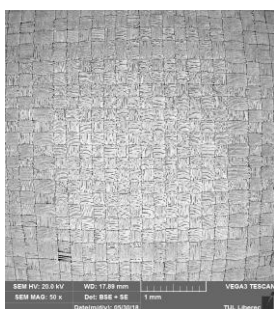


h) Rub

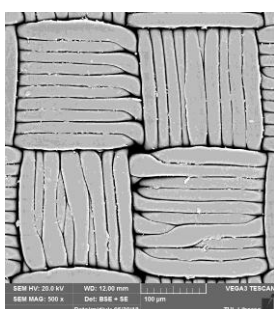


i) Příčný řez (útek)

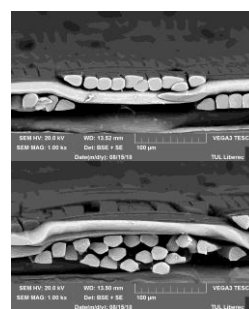
9082 LT2 (n=10)



j) Líc



k) Rub



l) Příčný řez (útek)

Obr. 111: Snímky podélných pleďů a příčných řezů tkanin

2. Příloha 2 – Prodyšnost (FX 3300)

Tabulka 29: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 160 Pa [l/m²/s]

AF0801C	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	8,69	9,82	9,69	11,50	9,87	9,48	9,50	6,67	
2	8,77	10,10	10,00	11,70	10,50	9,74	8,45	6,32	
3	8,97	10,10	11,30	11,70	10,60	9,68	9,21	6,94	
4	9,28	10,10	10,40	12,00	10,60	9,95	9,05	6,89	
5	9,16	10,10	10,30	12,90	10,60	9,33	9,06	6,52	
6	8,58	9,33	9,70	11,50	10,10	9,12	7,97	6,53	
7	8,70	11,00	11,20	13,50	11,10	10,10	9,32	7,36	
8	9,42	9,73	8,63	12,10	10,30	9,29	9,02	6,71	celkově
průměr	8,95	10,04	10,15	12,11	10,46	9,59	8,95	6,74	9,62
sm. odch.	0,31	0,48	0,87	0,72	0,37	0,34	0,50	0,32	1,52
horní mez	8,73	9,71	9,55	11,61	10,20	9,35	8,60	6,52	9,25
Dolní mez	9,16	10,36	10,75	12,61	10,72	9,82	9,29	6,96	10,00
95% IS	0,43	0,66	1,20	1,00	0,52	0,47	0,69	0,44	0,74

Tabulka 30: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 160 Pa [l/m²/s]

A1601A	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	12,70	20,60	20,80	21,00	23,50	21,60	21,60	14,90	
2	13,00	20,50	23,20	23,00	24,20	22,40	22,00	16,20	
3	12,10	18,50	21,60	21,20	23,40	21,70	20,50	14,90	
4	13,00	20,50	22,30	23,20	26,10	23,50	22,60	16,40	
5	13,50	20,50	22,10	21,70	24,10	21,40	21,00	14,70	
6	13,60	19,40	21,20	22,20	22,80	21,10	21,20	15,00	
7	13,80	20,70	23,70	24,90	26,10	24,90	25,20	17,80	
8	12,80	19,00	21,70	22,30	23,70	21,30	21,40	14,50	celkově
průměr	13,06	19,96	22,08	22,44	24,24	22,24	21,94	15,55	20,19
sm. odch.	0,56	0,86	0,98	1,26	1,23	1,32	1,46	1,15	3,77
horní mez	12,68	19,37	21,40	21,56	23,39	21,32	20,92	14,76	19,26
Dolní mez	13,45	20,56	22,75	23,31	25,09	23,16	22,95	16,34	21,11
95% IS	0,77	1,19	1,36	1,75	1,70	1,84	2,03	1,59	1,85

Tabulka 31: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 160 Pa [l/m²/s]

PN9	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	3,02	3,51	3,66	3,88	4,42	4,78	4,77	4,12	
2	3,18	3,59	3,79	4,86	4,23	4,58	4,69	3,86	
3	3,23	3,64	4,52	3,93	4,62	4,49	4,45	4,04	
4	2,95	3,59	3,92	4,20	4,37	4,44	4,68	3,88	
5	3,12	3,50	3,73	4,10	4,59	4,67	4,84	3,76	
6	3,42	3,49	3,70	4,00	4,53	4,70	5,06	4,13	
7	3,12	3,20	3,57	4,11	4,75	4,52	4,39	3,94	
8	3,19	3,43	3,50	3,79	4,61	4,65	4,55	3,91	celkově
průměr	3,15	3,49	3,80	4,11	4,52	4,60	4,68	3,96	4,04
sm. odch.	0,14	0,14	0,32	0,33	0,17	0,12	0,22	0,13	0,55
horní mez	3,06	3,40	3,58	3,88	4,40	4,52	4,53	3,86	3,90
Dolní mez	3,25	3,59	4,02	4,34	4,63	4,68	4,83	4,05	4,17
95% IS	0,20	0,19	0,44	0,46	0,23	0,16	0,30	0,18	0,27

Tabulka 32: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 160 Pa [l/m²/s]

9082 LT2	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	5,63	6,24	7,2	7,05	6,8	6,41	5,88	5,56	
2	5,69	6,22	7,03	7,02	7,11	6,29	5,97	5,65	
3	5,39	6,21	7,18	7,03	6,84	6,39	5,81	5,48	
4	5,91	6,48	7,23	7,29	7,15	7,04	6,14	6,42	
5	5,77	6,69	7,24	7,59	7,13	7,54	6,21	6,05	
6	5,79	6,03	6,82	6,67	6,7	7,01	6,46	6,18	
7	5,65	6,1	6,79	6,54	7,26	6,28	5,89	6,04	
8	5,22	5,55	6,22	5,98	5,86	5,64	5,26	5,23	celkově
průměr	5,63	6,19	6,96	6,90	6,86	6,58	5,95	5,83	6,36
sm. odch.	0,22	0,33	0,35	0,49	0,45	0,59	0,35	0,41	0,63
horní mez	5,48	5,96	6,72	6,55	6,55	6,17	5,71	5,55	6,21
Dolní mez	5,79	6,42	7,21	7,24	7,17	6,98	6,20	6,11	6,52
95% IS	0,31	0,46	0,49	0,69	0,62	0,82	0,49	0,56	0,31

Tabulka 33: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 180 Pa [l/m²/s]

AF0801C	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	10	11,7	11	13,3	11,4	10,8	10,6	7,6	
2	10,1	11,6	11,4	13,5	11,8	11,4	9,42	7,13	
3	10,3	11,8	12,8	13,2	11,6	11,2	10,3	7,77	
4	9,98	11,6	12	13,8	11,7	11,3	10,2	7,78	
5	10,5	11,5	11,7	14,8	11,6	10,8	10,4	8,21	
6	11,7	10,7	11,5	12,4	11,8	10,7	9,31	7,38	
7	10,3	12,7	12,9	15,5	13	11,9	11,6	8,45	
8	10,2	10,4	10,2	12,5	11,7	10,5	11	7,72	celkově
průměr	10,39	11,50	11,69	13,63	11,83	11,08	10,35	7,76	11,03
sm. odch.	0,56	0,70	0,90	1,07	0,49	0,46	0,76	0,42	1,71
horní mez	10,77	11,99	12,31	14,37	12,17	11,39	10,88	8,05	11,45
Dolní mez	10,00	11,01	11,07	12,88	11,48	10,76	9,83	7,46	10,61
95% IS	0,39	0,49	0,62	0,74	0,34	0,32	0,53	0,29	0,42

Tabulka 34: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 180 Pa [l/m²/s]

AF1601A	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	14,3	22,5	23,4	23,5	26,7	24	23,9	17,1	
2	14,9	24	26,3	26,2	27,7	25,5	25,5	19	
3	13,8	21,2	24,2	23,7	26,4	24,1	23,2	17,1	
4	14,5	23,1	25,2	26,4	28,6	26,5	25,8	18,8	
5	15,4	22,7	24,7	24,6	26,7	24,2	24,3	16,9	
6	15,3	21,9	23,8	25	26,8	23,9	23,7	17,7	
7	15,5	23,4	26,6	26,4	29,8	27,5	28,3	19,4	
8	14,1	21,3	24,4	25	26,9	24,5	25,2	17,5	celkově
průměr	14,73	22,51	24,83	25,10	27,45	25,03	24,99	17,94	22,82
sm. odch.	0,64	1,00	1,14	1,16	1,19	1,34	1,62	0,98	4,20
horní mez	15,17	23,20	25,62	25,90	28,27	25,96	26,11	18,62	23,85
Dolní mez	14,28	21,82	24,03	24,30	26,63	24,09	23,86	17,26	21,79
95% IS	0,45	0,69	0,79	0,80	0,82	0,93	1,12	0,68	1,03

Tabulka 35: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 180 Pa [l/m²/s]

PN9	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	3,69	4,44	4,81	4,79	5,77	5,71	5,5	4,76	
2	3,97	4,3	4,62	5,28	5,63	5,42	5,32	4,81	
3	3,71	4,19	4,96	5,15	5,54	5,33	5,45	4,75	
4	4,35	4,28	5,19	4,95	5,41	5,24	5,17	4,76	
5	4,3	4,31	4,88	5,19	5,71	5,62	5,61	4,88	
6	3,91	4,18	4,3	4,56	5,45	5,56	5,61	5,21	
7	3,52	3,94	4,31	4,66	5,78	5,26	5,13	4,38	
8	3,75	3,99	4,29	4,62	5,28	5,37	5,24	4,57	celkově
průměr	3,90	4,20	4,67	4,90	5,57	5,44	5,38	4,77	4,85
sm. odch.	0,30	0,17	0,34	0,28	0,18	0,17	0,19	0,24	0,61
horní mez	4,11	4,32	4,91	5,10	5,70	5,56	5,51	4,93	5,00
Dolní mez	3,69	4,09	4,43	4,70	5,45	5,32	5,25	4,60	4,70
95% IS	0,21	0,12	0,24	0,20	0,13	0,12	0,13	0,17	0,15

Tabulka 36: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 180 Pa [l/m²/s]

9082 LT2	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	6,34	6,84	7,53	7,87	8,12	8,23	7,09	6,34	
2	6,51	6,84	7,6	8,23	8,09	8,07	7,17	6,5	
3	6,19	6,92	7,35	8,11	8,13	8,29	7,15	6,22	
4	7,36	7,11	7,96	8,23	8,58	8,29	7,43	6,64	
5	7,59	7,12	8,42	8,16	8,7	8,41	7,65	6,57	
6	7,1	7,46	7,01	7,61	7,6	7,73	6,96	6,47	
7	6,71	6,46	7,15	8,52	7,42	7,99	7,04	6,47	
8	5,98	5,89	6,45	6,88	6,72	7,00	6,38	5,7	celkově
průměr	6,72	6,83	7,43	7,95	7,92	8,00	7,11	6,36	7,29
sm. odch.	0,58	0,48	0,60	0,51	0,65	0,46	0,37	0,30	0,76
horní mez	7,12	7,16	7,85	8,30	8,37	8,32	7,37	6,57	7,48
Dolní mez	6,32	6,50	7,02	7,60	7,47	7,68	6,85	6,16	7,11
95% IS	0,40	0,33	0,42	0,35	0,45	0,32	0,26	0,21	0,19

Tabulka 37: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

AF0801C	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	11,1	12,9	12,4	14,6	12,6	11,9	11,9	8,18	
2	11,2	12,8	12,8	14,9	13	12,5	10,9	7,84	
3	11,2	12,8	14,2	14,8	13,2	12,4	11,1	8,66	
4	11,1	13	13,2	15,4	12,8	12,6	10,6	8,63	
5	11,7	12,8	13	16,4	13,1	11,9	11,7	8,98	
6	12,7	11,9	12,7	14,2	13	11,8	10,4	8,44	
7	11,7	13,8	14,3	17	14,4	13,2	12,8	9,31	
8	11,4	11,8	11,5	13,6	12,9	11,7	11,4	8,45	celkově
průměr	11,51	12,73	13,01	15,11	13,13	12,25	11,35	8,56	12,21
sm. odch.	0,54	0,63	0,92	1,12	0,55	0,52	0,78	0,45	1,90
horní mez	11,89	13,16	13,65	15,89	13,50	12,61	11,89	8,88	12,67
dolní mez	11,14	12,29	12,38	14,33	12,75	11,89	10,81	8,25	11,74
95 % IS	0,75	0,88	1,27	1,56	0,76	0,71	1,08	0,63	0,93

Tabulka 38: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

AF1601A	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	16,60	25,50	26,80	27,30	30,20	27,30	27,30	20,00	
2	17,80	27,20	27,70	29,10	30,90	28,80	28,50	21,20	
3	16,20	23,80	27,50	27,20	30,10	27,40	26,50	19,60	
4	16,60	24,90	28,10	29,70	32,00	29,00	28,90	20,80	
5	17,30	26,10	27,50	27,70	30,20	27,40	27,00	19,50	
6	17,10	24,90	26,30	27,60	30,00	26,50	26,60	19,50	
7	17,90	26,80	28,90	30,10	33,60	30,20	31,50	21,30	
8	17,80	23,90	27,60	27,90	29,60	27,40	28,00	19,70	celkově
průměr	17,16	25,39	27,55	28,33	30,83	28,00	28,04	20,20	25,69
sm. odch.	0,65	1,25	0,78	1,14	1,34	1,21	1,65	0,77	4,47
horní mez	16,20	23,80	26,30	27,20	29,60	26,50	26,50	19,50	24,59
dolní mez	17,90	27,20	28,90	30,10	33,60	30,20	31,50	21,30	26,78
95% IS	0,54	1,05	0,65	0,95	1,12	1,01	1,38	0,65	2,21

Tabulka 39: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

PN9	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	4,12	4,85	5,2	5,23	6,12	6,36	6,06	5,74	
2	4,36	4,72	4,95	5,66	6,1	5,9	6,17	5,21	
3	4,09	4,59	5,37	5,94	6,06	5,87	6,11	5,4	
4	4,67	4,74	5,61	5,31	5,89	5,85	6	5,27	
5	4,57	4,75	5,33	5,57	6,17	6,18	6,36	5,35	
6	4,37	4,67	4,92	5,07	5,82	6,19	6,4	5,35	
7	3,86	4,39	4,77	5,09	6,22	5,8	5,76	4,76	
8	4,19	4,49	4,74	5,1	5,84	5,93	6,95	4,98	celkově
průměr	4,28	4,65	5,11	5,37	6,03	6,01	6,23	5,26	5,37
sm. odch.	0,27	0,15	0,31	0,32	0,16	0,20	0,36	0,29	0,70
horní mez	4,46	4,75	5,33	5,59	6,14	6,15	6,47	5,46	5,54
dolní mez	4,09	4,55	4,89	5,15	5,92	5,87	5,98	5,06	5,19
95 % IS	0,37	0,21	0,43	0,44	0,22	0,28	0,49	0,40	0,34

Tabulka 40: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

9082 LT2	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	7,03	7,67	8,39	8,65	9,04	9,23	8	7,05	
2	7,36	7,79	8,33	9,08	8,97	8,98	8,14	7,06	
3	7,03	6,55	8,24	9,03	9,14	9,17	8,87	6,77	
4	8,21	7,74	8,95	9,18	9,4	9,26	8,17	7,29	
5	8,37	7,96	9,47	9,02	9,71	9,33	8,49	7,26	
6	7,83	8,24	8,81	8,53	8,45	8,55	8,87	7,05	
7	7,53	7,3	7,72	9,27	8,26	8,81	7,84	7,06	
8	6,61	6,55	7,11	7,59	7,47	7,79	7,14	6,31	celkově
průměr	7,50	7,48	8,38	8,79	8,81	8,89	8,19	6,98	8,13
sm. odch.	0,61	0,63	0,73	0,55	0,71	0,52	0,57	0,31	0,88
horní mez	7,07	7,04	7,87	8,41	8,31	8,53	7,79	6,76	7,91
dolní mez	7,92	7,91	8,89	9,17	9,30	9,25	8,59	7,20	8,34
95 % IS	0,85	0,87	1,02	0,76	0,99	0,72	0,79	0,44	0,43

Tabulka 41: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

PET sur	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	378	367	358	319	339	389	456	456	
2	383	355	370	310	329	368	458	457	
3	384	352	354	301	329	368	442	455	
4	390	359	350	312	333	381	469	467	
5	381	382	367	333	350	380	483	490	celkově
průměr	383,2	363	359,8	315	336	377,2	461,6	465	395,98
směr. odch.	3,970	10,752	7,600	10,677	7,899	8,134	13,720	13,221	54,201
horní mez	386,680	372,424	366,462	324,359	342,924	384,330	473,626	476,589	411,003
dolní mez	379,720	353,576	353,138	305,641	329,076	370,070	449,574	453,411	380,957
95% IS	6,959	18,848	13,323	18,717	13,848	14,259	24,052	23,177	30,047

Tabulka 42: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

PET upr.	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	403	423	357	358	357	360	406	364	
2	418	425	342	337	331	347	358	349	
3	394	416	347	361	328	348	402	338	
4	396	494	336	345	342	352	348	391	
5	397	434	367	348	353	378	403	362	celkově
Průměr	401,6	438,4	349,8	349,8	342,2	357	383,4	360,8	387,74
směr. odch.	8,732	28,387	11,016	8,750	11,513	11,454	25,057	17,792	47,403
horní mez	409,253	463,282	359,456	357,469	352,292	367,040	405,363	376,395	400,879
dolní mez	393,947	413,518	340,144	342,131	332,108	346,960	361,437	345,205	374,6008
95% IS	15,307	49,764	19,312	15,339	20,184	20,080	43,926	31,190	26,278

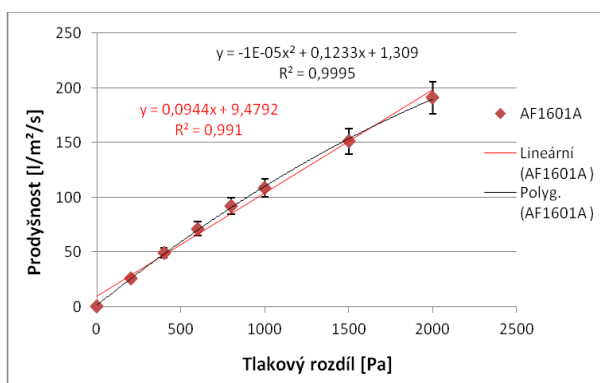
Tabulka 43: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

PAD sur	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	879	904	939	958	995	994	1050	1040	
2	860	905	950	965	1010	942	1060	1030	
3	904	924	957	971	1010	998	1040	1020	
4	820	863	897	936	973	954	1010	1020	
5	890	906	906	971	1030	990	1060	1060	celkově
průměr	870,6	900,4	929,8	960,2	1003,6	975,6	1044	1034	978,04
směr. odch.	29,104	20,106	23,978	13,014	18,917	22,992	18,547	14,967	77,002
horní mez	896,110	918,023	950,818	971,607	1020,18	995,753	1060,26	1047,12	999,383
dolní mez	845,090	882,777	908,782	948,793	987,019	955,447	1027,74	1020,88	956,697
95% IS	51,021	35,246	42,035	22,814	33,162	40,306	32,514	26,237	42,687

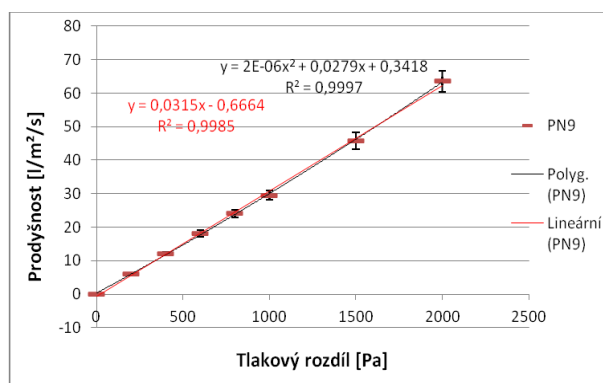
Tabulka 34: Hodnoty prodyšnosti při tlakovém spádu 200 Pa [l/m²/s]

PAD upr.	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	5,27	4,75	4,42	4,04	4,48	4,95	5,12	4,23	
2	4,94	4,88	4,47	4,16	4,84	6,27	5,07	4,55	
3	4,97	4,42	4,11	5,25	4,63	5,29	7,7	4,57	
4	4,76	3,98	5,69	3,84	4,18	5,46	4,98	4,81	
5	5,12	4,23	4,99	3,56	4,02	4,62	4,85	4,43	celkově
průměr	5,012	4,452	4,736	4,17	4,43	5,318	5,544	4,518	4,7266
směr. odch.	0,172	0,330	0,554	0,577	0,297	0,557	1,082	0,190	0,663
horní mez	5,163	4,741	5,222	4,676	4,690	5,806	6,492	4,684	4,910
dolní mez	4,861	4,163	4,250	3,664	4,170	4,830	4,596	4,352	4,543
95% IS	0,302	0,579	0,972	1,011	0,521	0,976	1,897	0,332	0,367

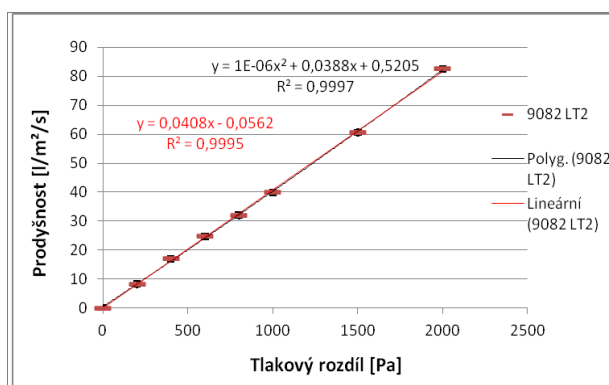
3. Příloha 3 – Vliv tlakového spádu na prodyšnost



Obr. 112: Závislost prodyšnosti na tlakovém rozdílu, AF1601A



Obr. 113: Závislost prodyšnosti na tlakovém rozdílu, PN9



Obr. 114: Závislost prodyšnosti na tlakovém rozdílu, 9082 LT2

4. Příloha 4 - Prodyšnost (Porozimetr)

Tabulka 44: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru [s]

AF0801C	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	1,30	1,10	1,20	1,00	1,20	1,20	1,30	1,70	
2	1,20	1,20	1,10	1,00	1,10	1,20	1,30	1,80	
3	1,30	1,10	1,10	1,00	1,10	1,20	1,30	1,70	
4	1,20	1,20	1,10	1,00	1,10	1,10	1,30	1,60	
5	1,20	1,20	1,10	0,90	1,10	1,20	1,30	1,60	
6	1,50	1,20	1,10	1,00	1,10	1,20	1,30	1,80	
7	1,30	1,10	1,20	0,90	1,00	1,10	1,20	1,60	
8	1,30	1,20	1,10	1,00	1,10	1,20	1,20	1,70	celkově
průměr	1,29	1,16	1,13	0,98	1,10	1,18	1,28	1,69	1,22
sm. Odch.	0,09	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,08	0,21
horní mez	1,35	1,20	1,16	1,01	1,13	1,21	1,31	1,74	1,27
dolní mez	1,22	1,13	1,09	0,94	1,07	1,14	1,24	1,63	1,17
95% IS	0,13	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,11	0,10

Tabulka 45: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru přepočítané na jednotku $l/m^2/s$ a odpovídající tlak. spádu 1000 Pa

AF0801C	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	49,95	59,03	54,11	64,94	54,11	54,11	49,95	38,20	
2	54,11	54,11	59,03	64,94	59,03	54,11	49,95	36,08	
3	49,95	59,03	59,03	64,94	59,03	54,11	49,95	38,20	
4	54,11	54,11	59,03	64,94	59,03	59,03	49,95	40,58	
5	54,11	54,11	59,03	72,15	59,03	54,11	49,95	40,58	
6	43,29	54,11	59,03	64,94	59,03	54,11	49,95	36,08	
7	49,95	59,03	54,11	72,15	64,94	59,03	54,11	40,58	
8	49,95	54,11	59,03	64,94	59,03	54,11	54,11	38,20	celkově
průměr	50,68	55,96	57,80	66,74	59,15	55,34	50,99	38,56	54,40
sm. Odch.	3,39	2,38	2,13	3,12	2,71	2,13	1,80	1,77	8,03
horní mez	53,03	57,61	59,28	68,90	61,04	56,82	52,24	39,79	56,37
dolní mez	48,33	54,31	56,33	64,57	57,27	53,87	49,74	37,34	52,44
95% IS	4,70	3,30	2,95	4,33	3,76	2,95	2,50	2,45	3,93

Tabulka 46: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru [s]

AF1601A	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	0,90	0,60	0,60	0,60	0,50	0,60	0,60	0,80	
2	0,90	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	
3	0,90	0,60	0,60	0,60	0,50	0,60	0,60	0,80	
4	0,90	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,70	
5	0,90	0,60	0,60	0,60	0,50	0,60	0,60	0,80	
6	0,90	0,60	0,60	0,50	0,50	0,60	0,60	0,80	
7	0,90	0,50	0,50	0,60	0,50	0,50	0,50	0,70	
8	0,90	0,60	0,60	0,60	0,50	0,60	0,50	0,80	celkově
průměr	0,9000	0,5875	0,5625	0,5625	0,5000	0,5625	0,5625	0,7750	0,6266
sm. odch.	0,0000	0,0331	0,0484	0,0484	0,0000	0,0484	0,0484	0,0433	0,1337
horní mez	0,9000	0,6104	0,5960	0,5960	0,5000	0,5960	0,5960	0,8050	0,6593
dolní mez	0,9000	0,5646	0,5290	0,5290	0,5000	0,5290	0,5290	0,7450	0,5938
95% IS	0,0000	0,0458	0,0671	0,0671	0,0000	0,0671	0,0671	0,0600	0,0655

Tabulka 47: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru přepočítané na jednotku $l/m^2/s$ a odpovídající tlak. spádu 1000 Pa

AF1601A	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	72,15	108,23	108,23	108,23	129,87	108,23	108,23	81,17	
2	72,15	108,23	129,87	129,87	129,87	129,87	129,87	81,17	
3	72,15	108,23	108,23	108,23	129,87	108,23	108,23	81,17	
4	72,15	108,23	129,87	129,87	129,87	129,87	108,23	92,76	
5	72,15	108,23	108,23	108,23	129,87	108,23	108,23	81,17	
6	72,15	108,23	108,23	129,87	129,87	108,23	108,23	81,17	
7	72,15	129,87	129,87	108,23	129,87	129,87	129,87	92,76	
8	72,15	108,23	108,23	108,23	129,87	108,23	129,87	81,17	celkově
průměr	72,15	110,93	116,34	116,34	129,87	116,34	116,34	84,07	107,80
sm. Odch.	0,00	7,16	10,48	10,48	0,00	10,48	10,48	5,02	19,81
horní mez	0,00	115,89	123,60	123,60	0,00	123,60	123,60	87,55	112,65
dolní mez	0,00	105,97	109,08	109,08	0,00	109,08	109,08	80,59	102,95
95% IS	0,00	9,92	14,52	14,52	0,00	14,52	14,52	6,96	9,71

Tabulka 48: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru [s]

PN9	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	3,60	3,10	2,80	3,00	2,70	2,40	2,30	2,70	
2	3,40	3,10	2,90	2,90	2,60	2,40	2,40	2,80	
3	3,50	3,20	2,70	2,20	2,70	2,40	2,40	2,60	
4	3,40	3,10	2,70	2,80	2,70	2,50	2,40	2,60	
5	3,40	3,00	3,00	2,80	2,60	2,30	2,30	2,70	
6	3,40	3,10	2,90	2,90	2,90	2,50	2,40	2,60	
7	3,70	3,30	3,10	3,00	2,90	2,40	2,40	2,70	
8	3,50	3,20	3,10	2,90	2,70	2,50	2,30	2,60	celkově
průměr	3,49	3,14	2,90	2,81	2,73	2,43	2,36	2,66	2,81
sm. odch.	0,11	0,09	0,15	0,24	0,11	0,07	0,05	0,07	0,37
horní mez	3,56	3,20	3,00	2,98	2,80	2,47	2,40	2,71	2,90
dolní mez	3,41	3,08	2,80	2,64	2,65	2,38	2,33	2,61	2,72
95% IS	0,15	0,12	0,21	0,34	0,15	0,09	0,07	0,10	0,18

Tabulka 49: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru přepočítané na jednotku $l/m^2/s$ a odpovídající tlak. spádu 1000 Pa

PN9	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	18,04	20,95	23,19	21,65	24,05	27,06	28,23	24,05	
2	19,10	20,95	22,39	22,39	24,98	27,06	27,06	23,19	
3	18,55	20,29	24,05	29,52	24,05	27,06	27,06	24,98	
4	19,10	20,95	24,05	23,19	24,05	25,97	27,06	24,98	
5	19,10	21,65	21,65	23,19	24,98	28,23	28,23	24,05	
6	19,10	20,95	22,39	22,39	22,39	25,97	27,06	24,98	
7	17,55	19,68	20,95	21,65	22,39	27,06	27,06	24,05	
8	18,55	20,29	20,95	22,39	24,05	25,97	28,23	24,98	celkově
průměr	18,64	20,71	22,45	23,30	23,87	26,80	27,50	24,41	23,4577
sm. odch.	0,55	0,56	1,16	2,41	0,93	0,74	0,57	0,63	2,9643
horní mez	19,02	21,10	23,26	24,97	24,51	27,31	27,89	24,84	24,18
dolní mez	18,26	20,32	21,64	21,62	23,22	26,29	27,10	23,97	22,73
95% IS	0,76	0,78	1,61	3,35	1,29	1,02	0,79	0,87	1,45

Tabulka 50: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru [s]

9082 LT2	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	1,90	1,80	1,60	1,60	1,60	1,70	1,80	2,00	
2	2,00	1,80	1,60	1,60	1,60	1,70	1,90	2,00	
3	2,10	1,80	1,50	1,50	1,60	1,70	1,90	2,10	
4	2,00	1,80	1,60	1,60	1,60	1,60	1,80	1,80	
5	1,90	1,70	1,50	1,50	1,60	1,50	1,80	1,80	
6	1,90	1,90	1,70	1,70	1,70	1,60	1,80	1,80	
7	2,10	1,90	1,70	1,70	1,70	1,80	2,00	2,10	
8	2,30	2,00	1,80	1,90	1,90	2,00	2,20	2,20	celkově
průměr	2,03	1,84	1,63	1,64	1,66	1,70	1,90	1,98	1,80
sm. Odch.	0,13	0,09	0,10	0,12	0,10	0,14	0,13	0,15	0,19
horní mez	2,12	1,90	1,69	1,72	1,73	1,80	1,99	2,08	1,84
dolní mez	1,93	1,78	1,56	1,55	1,59	1,60	1,81	1,87	1,75
95% IS	0,18	0,12	0,13	0,17	0,14	0,20	0,18	0,20	0,09

Tabulka 51: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru přepočítané na jednotku $[l/m^2/s]$ a odpovídající tlak. spádu 1000 Pa

9082 LT2	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	34,18	36,08	40,58	40,58	40,58	38,20	36,08	32,47	
2	32,47	36,08	40,58	40,58	40,58	38,20	34,18	32,47	
3	30,92	36,08	43,29	43,29	40,58	38,20	34,18	30,92	
4	32,47	36,08	40,58	40,58	40,58	40,58	36,08	36,08	
5	34,18	38,20	43,29	43,29	40,58	43,29	36,08	36,08	
6	34,18	34,18	38,20	38,20	38,20	40,58	36,08	36,08	
7	30,92	34,18	38,20	38,20	38,20	36,08	32,47	30,92	
8	28,23	32,47	36,08	34,18	34,18	32,47	29,52	29,52	celkově.
průměr	32,19	35,41	40,10	39,86	39,19	38,45	34,33	33,06	36,58
sm. Odch.	1,96	1,63	2,36	2,80	2,15	3,04	2,20	2,49	3,81
horní mez	33,55	36,54	41,73	41,81	40,67	40,56	35,86	34,79	37,51
dolní mez	30,83	34,29	38,47	37,92	37,70	36,34	32,80	31,34	35,64
95% IS	2,72	2,26	3,27	3,89	2,97	4,22	3,05	3,45	1,87

Tabulka 52: Hodnoty prodyšnosti naměřené na Porozimetru přepočítané na jednotku $[l/m^2/s]$ a odpovídající tlak. spádu 1000 Pa

Ortex PA66 upr.	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	19,10	21,65	20,95	23,19	25,97	20,29	20,95	20,95	
2	20,29	25,97	21,65	19,10	18,55	17,09	19,68	19,10	
3	18,55	19,10	22,39	17,55	18,04	19,68	17,09	18,55	
4	17,09	19,68	19,68	20,29	15,10	19,68	19,10	19,68	
5	20,29	24,98	24,05	23,19	18,04	23,19	21,65	22,39	
6	19,10	27,06	20,29	18,55	20,95	21,65	19,10	19,68	
7	18,55	19,68	20,29	19,10	17,09	18,55	20,29	20,29	
8	18,55	20,95	20,29	19,68	17,09	21,65	19,68	21,65	celkově
průměr	18,94	22,38	21,20	20,08	18,85	20,22	19,69	20,29	20,21
směr. odch.	0,97	2,95	1,35	1,94	3,10	1,81	1,29	1,22	2,25
horní mez	19,62	24,42	22,13	21,43	21,00	21,47	20,58	21,13	20,76
dolní mez	18,27	20,34	20,26	18,73	16,71	18,97	18,80	19,44	19,65
95% IS	1,35	4,08	1,87	2,69	4,29	2,50	1,78	1,69	1,10

5. Příloha 5 - Prodyšnost (MPT 01)

Tabulka 53: Hodnoty prodyšnosti naměřené na přístroji MPT 01 $[l/m^2/s]$, tlakový spád 1500 (+/- 10) Pa

AF0801C	A	B	C	D	E	F	G	H	
2. řádek	71,08	73,52	100,26	132,40	106,16	98,84	74,03	68,33	
4. řádek	72,71	86,03	72,77	88,67	82,57	75,45	77,38	60,91	
6. řádek	77,59	77,79	88,77	95,38	74,64	71,89	69,55	71,59	celkově
průměr	73,79	79,11	90,60	105,48	87,79	82,10	73,66	66,94	82,43
sm. odch.	2,77	5,19	7,26	19,23	13,39	12,00	3,21	4,47	15,17
horní mez	76,92	82,71	95,63	114,81	97,07	90,41	75,88	70,04	88,50
dolní mez	70,66	73,24	82,39	83,73	72,64	68,52	70,03	61,89	76,37
95% IS	6,26	9,47	13,24	35,08	24,43	21,90	5,85	8,15	12,13

Tabulka 54: Hodnoty prodyšnosti naměřené na přístroji MPT 01 [$l/m^2/s$], tlakový spád 1500 (+/- 10) Pa

AF1601A	A	B	C	D	E	F	G	H	
2. řádek	95,99	139,01	154,36	154,16	150,60	143,48	161,38	114,20	
4. řádek	89,28	128,64	150,80	183,24	177,55	158,23	183,95	139,52	
6. řádek	131,89	160,46	161,07	151,21	174,09	195,75	159,04	141,35	celkově
průměr	105,72	142,70	155,41	162,87	167,41	165,82	168,19	131,69	149,98
sm. odch.	18,71	13,25	4,26	14,46	11,97	22,00	11,19	12,39	25,22
horní mez	126,89	157,70	160,23	179,23	180,96	190,72	180,86	145,71	160,07
dolní mez	84,55	127,70	150,59	146,51	153,89	140,92	155,53	117,67	139,89
95% IS	42,23	30,00	9,64	32,71	27,09	49,80	25,33	28,04	20,18

Tabulka 55: Hodnoty prodyšnosti komerční tkaniny AF0801C (bez těsnění) [$l/m^2/s$], tlakový spád 1500 (+/- 10) Pa

AF0801C	A	B	C	D	E	F	G	H	
2. řádek	58,98	103,72	115,72	130,87	150,29	185,78	132,80	180,60	
4. řádek	120,81	177,45	179,48	194,73	149,68	155,38	141,24	117,14	
6. řádek	113,99	116,13	134,43	154,97	149,48	182,43	145,41	131,58	celkově
průměr	97,93	132,43	143,21	160,19	149,82	174,53	139,82	143,11	142,63
sm. Odch.	27,68	32,23	26,76	26,33	0,35	13,61	5,25	27,16	30,70
horní mez	117,11	154,77	161,75	178,44	150,66	183,96	143,46	161,93	154,91
dolní mez	78,74	110,10	124,67	141,95	149,58	165,10	136,19	124,29	130,35
95% IS	30,25	35,23	29,25	28,78	0,38	14,88	5,73	29,68	24,56

Tabulka 56: Hodnoty prodyšnosti komerční tkaniny AF1601A (bez těsnění) [$l/m^2/s$], tlakový spád 1500 (+/- 10) Pa

AF1601A	A	B	C	D	E	F	G	H	
2. řádek	184,16	227,78	219,44	233,58	234,39	220,46	230,93	193,72	
4. řádek	159,65	200,43	269,68	261,44	206,93	188,83	217,31	172,31	
6. řádek	183,24	252,59	196,26	288,89	223,41	235,41	182,53	223,00	celkově
průměr	175,68	226,93	228,46	261,30	221,58	215,07	210,26	196,49	216,97
sm. Odch.	11,34	21,31	30,64	22,58	11,28	19,60	20,38	20,60	30,97
horní mez	183,54	241,70	249,69	276,95	229,40	228,65	224,38	210,77	229,36
dolní mez	117,14	218,41	216,20	252,27	217,06	207,23	202,10	188,25	204,58
95% IS	12,40	23,29	33,49	24,68	12,33	21,42	22,28	22,52	24,78

Tabulka 57: Hodnoty prodyšnosti komerční tkaniny PN9 (bez těsnění) [$l/m^2/s$], tlakový spád 1500 (+/- 10) Pa

PN9	A	B	C	D	E	F	G	H	
2. řádek	79,93	93,96	93,35	110,74	99,04	115,52	116,84	98,94	
4. řádek	69,05	121,52	91,72	90,96	98,33	133,01	99,35	99,55	
6. řádek	98,18	89,08	104,84	121,52	118,67	129,35	118,06	106,87	celkově
průměr	81,38	101,52	96,64	107,74	105,35	125,96	111,42	101,79	103,97
sm. Odch.	10,72	14,28	5,84	12,65	9,42	7,53	8,55	3,60	15,31
horní mez	88,81	111,41	100,68	116,51	111,88	131,18	117,34	104,29	110,10
dolní mez	77,10	95,80	94,30	102,68	101,58	122,94	108,00	100,35	97,85
95% IS	11,72	15,61	6,38	13,83	10,30	8,23	9,34	3,94	12,25

Tabulka 58: Hodnoty prodyšnosti komerční tkaniny 9082 LT2 (bez těsnění) [$l/m^2/s$], tlakový spád 1500 (+/- 10) Pa

9082 LT2	A	B	C	D	E	F	G	H	
2. řádek	116,03	120,81	115,62	165,24	128,94	130,97	115,82	87,69	
4. řádek	93,96	112,06	136,77	145,82	125,28	136,87	94,98	97,11	
6. řádek	104,33	104,64	141,75	88,37	166,56	107,38	100,26	114,09	celkově
průměr	104,77	112,50	131,38	133,14	140,26	125,08	103,69	99,63	118,81
sm. Odch.	9,01	6,61	11,33	32,64	18,66	12,74	8,85	10,93	21,57
horní mez	111,02	117,08	139,23	155,76	153,19	133,90	109,82	107,20	127,44
dolní mez	101,17	109,86	126,85	120,08	132,80	119,98	100,15	95,26	110,18
95% IS	9,85	7,22	12,38	35,68	20,39	13,93	9,67	11,94	17,26

6. Příloha 6 – Výsledky predikce vlastností padákových tkanin

Tabulka 59: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, $T=3,33$ tex, střída 14+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m^2]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Jemnost vlákna t [tex]	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
Průměr vlákna [mm]	0,0194	0,0177	0,0164	0,0153	0,0144
Průměr multifilu [mm]	0,0643	0,0643	0,0643	0,0643	0,0643
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_u$	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2
Dostava [nití/1cm]	46	42	40	37	36
Rozteč A [mm]	0,213	0,229	0,246	0,260	0,274
Délka nitě lo [mm]	0,049	0,046	0,043	0,041	0,039
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m^2]	36,99	34,02	31,67	29,75	28,13
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,048	0,044	0,041	0,038	0,036
Hustota tkaniny []	763,82	769,68	773,87	777,001	779,44
Objemový podíl [-]0,676	0,678	0,681	0,684	0,688	0,691
Porozita [%]	32,4	31,9	31,5	31,2	31,0

Tabulka 60: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, $T=4,44$ tex, střída 14+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m^2]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Jemnost vlákna t [tex]	0,44	0,37	0,32	0,28	0,25
Průměr vlákna [mm]	0,0224	0,0204	0,0189	0,0177	0,0167
Průměr multifilu [mm]	0,0743	0,0743	0,0743	0,0743	0,0743
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_u$	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2
Dostava [nití/1cm]	46	42	10	37	36
Rozteč A [mm]	0,246	0,265	0,284	0,301	0,317
Délka nitě lo [mm]	0,057	0,053	0,049	0,047	0,045
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m^2]	42,71	39,29	36,57	34,35	32,49
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,056	0,051	0,047	0,044	0,042
Hustota tkaniny []	763,82	769,68	773,87	777,01	779,44
Objemový podíl [-]	0,676	0,681	0,685	0,688	0,691
Porozita [%]	32,4	31,9	31,5	31,2	31,0

Tabulka 61: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, T=3,33 tex, střída 14+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Jemnost vlákna t [tex]	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
Průměr vlákna [mm]	0,0175	0,0161	0,0149	0,0139	0,0132
Průměr multifilu [mm]	0,0586	0,0586	0,0586	0,0586	0,0586
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_u$	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2
Dostava [nití/1cm]	58	54	50	47	45
Rozteč A [mm]	0,194	0,209	0,224	0,237	0,250
Délka nitě lo [mm]	0,045	0,042	0,039	0,037	0,036
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	40,58	37,33	34,75	32,63	30,86
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,044	0,040	0,037	0,035	0,033
Hustota tkaniny []	919,28	926,34	931,38	935,16	938,09
Objemový podíl [-]	0,676	0,681	0,684	0,688	0,691
Porozita [%]	32,4	31,9	31,5	31,2	31,0

Tabulka 62: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, T=2,22 tex, střída 14+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Jemnost vlákna t [tex]	0,44	0,37	0,32	0,28	0,25
Průměr vlákna [mm]	0,0204	0,0186	0,0172	0,0161	0,0152
Průměr multifilu [mm]	0,0677	0,0677	0,0677	0,0677	0,0677
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_u$	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2	14+2*2
Dostava [nití/1cm]	50	46	44	41	39
Rozteč A [mm]	0,224	0,242	0,258	0,274	0,289
Délka nitě lo [mm]	0,052	0,048	0,046	0,043	0,041
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	46,86	43,10	40,12	37,68	35,64
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,051	0,047	0,043	0,040	0,038
Hustota tkaniny []	919,28	926,34	931,38	935,16	938,09
Objemový podíl [-]	0,676	0,681	0,684	0,688	0,691
Porozita [%]	32,4	31,9	31,5	31,2	31,0

Tabulka 63: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, T=2,22 tex, střída 16+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Jemnost vlákna t [tex]	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12
Průměr vlákna [mm]	0,0158	0,0144	0,0133	0,0125	0,0118
Průměr multifilu [mm]	0,0525	0,0525	0,0525	0,0525	0,0525
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_u$	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2
Dostava [nití/1cm]	64	59	55	52	50
Rozteč A [mm]	0,174	0,188	0,201	0,213	0,224
Délka nitě lo [mm]	0,040	0,038	0,035	0,034	0,032
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	29,83	27,44	25,54	23,99	22,69
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,039	0,036	0,033	0,031	0,029
Hustota tkaniny []	754,386	760,179	764,315	767,413	769,821
Objemový podíl [-]	0,668	0,673	0,676	0,679	0,681
Porozita [%]	33,2	32,7	32,4	32,1	31,9

Tabulka 64: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, T=3,33 tex, střída 16+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Jemnost vlákna t [tex]	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
Průměr vlákna [mm]	0,0194	0,0177	0,0164	0,0153	0,0144
Průměr multifilu [mm]	0,0643	0,0643	0,0643	0,0643	0,0643
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, v _o =v _ú	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2
Dostava [nití/1cm]	52	48	45	53	41
Rozteč A [mm]	0,213	0,229	0,246	0,260	0,274
Délka nitě lo [mm]	0,049	0,046	0,043	0,041	0,039
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	36,53	33,60	31,28	29,38	27,89
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,048	0,044	0,041	0,038	0,036
Hustota tkaniny []	754,386	760,179	764,315	767,413	769,821
Objemový podíl [-]	0,668	0,673	0,676	0,679	0,681
Porozita [%]	33,2	32,7	32,4	32,1	31,9

Tabulka 65: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, T=4,44 tex, střída 16+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Jemnost vlákna t [tex]	0,44	0,37	0,32	0,28	0,25
Průměr vlákna [mm]	0,0224	0,0204	0,0189	0,0177	0,0167
Průměr multifilu [mm]	0,0743	0,0743	0,0743	0,0743	0,0743
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, v _o =v _ú	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2
Dostava [nití/1cm]	45	42	39	37	35
Rozteč A [mm]	0,2460	0,2654	0,2836	0,3006	0,3168
Délka nitě lo [mm]	0,0519	0,0531	0,0499	0,0474	0,0453
Setkání Se [-]	0,0512	0,0439	0,0381	0,0336	0,0300
Plošná hmotnost G [g/m ²]	42,18	38,80	36,12	33,92	32,08
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,056	0,051	0,047	0,044	0,042
Hustota tkaniny []	754,386	760,179	764,315	767,413	739,821
Objemový podíl [-]	0,668	0,673	0,676	0,679	0,681
Porozita [%]	33,2	32,7	32,4	32,1	31,9

Tabulka 66: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, T=2,22 tex, střída 16+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Jemnost vlákna t [tex]	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12
Průměr vlákna [mm]	0,0144	0,0132	0,0122	0,0114	0,0107
Průměr multifilu [mm]	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, v _o =v _ú	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2
Dostava D _o =D _ú [nití/1cm]	70	65	61	57	54
Rozteč A [mm]	0,159	0,171	0,183	0,194	0,204
Délka nitě lo [mm]	0,037	0,034	0,032	0,031	0,029
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	32,72	30,10	28,02	26,32	24,89
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,036	0,033	0,030	0,028	0,027
Hustota tkaniny []	907,934	914,905	919,883	923,613	926,509
Objemový podíl [-]	0,668	0,673	0,676	0,679	0,681
Porozita [%]	33,2	32,7	32,4	32,1	31,9

Tabulka 67: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, T=3,33 tex, střída 16+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Jemnost vlákna t [tex]	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
Průměr vlákna [mm]	0,0175	0,0161	0,0149	0,0139	0,0132
Průměr multifilu [mm]	0,0586	0,0586	0,0586	0,0586	0,0586
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_{\dot{u}}$	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2
Dostava [nití/1cm]	57	53	50	47	44
Rozteč A [mm]	0,194	0,209	0,224	0,237	0,250
Délka nitě lo [mm]	0,045	0,042	0,039	0,037	0,036
Setkání Se [-]	0,040	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	40,08	36,87	34,32	32,23	30,48
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,044	0,040	0,037	0,035	0,033
Hustota tkaniny []	907,934	914,905	919,883	923,613	926,509
Objemový podíl [-]	0,668	0,673	0,676	0,679	0,681
Porozita [%]	33,2	32,7	32,4	32,1	31,9

Tabulka 68: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, T=4,44 tex, střída 16+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Jemnost vlákna t [tex]	0,44	0,37	0,32	0,28	0,25
Průměr vlákna [mm]	0,0204	0,0186	0,0172	0,0161	0,0152
Průměr multifilu [mm]	0,0677	0,0677	0,0677	0,0677	0,0677
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_{\dot{u}}$	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2	16+2*2
Dostava [nití/1cm]	50	46	43	41	38
Rozteč A [mm]	0,224	0,242	0,258	0,274	0,289
Délka nitě lo [mm]	0,052	0,048	0,046	0,043	0,041
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	46,28	42,57	39,63	37,22	35,19
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,051	0,047	0,04	0,040	0,038
Hustota tkaniny []	907,934	914,905	919,883	923,613	926,509
Objemový podíl [-]	0,668	0,673	0,676	0,679	0,681
Porozita [%]	33,2	32,7	32,4	32,1	31,9

Tabulka 69: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, T=2,22 tex, střída 18+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Jemnost vlákna t [tex]	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12
Průměr vlákna [mm]	0,0158	0,0144	0,0133	0,0125	0,0118
Průměr multifilu [mm]	0,0525	0,0525	0,0525	0,0525	0,0525
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_{\dot{u}}$	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2
Dostava [nití/1cm]	63	59	55	52	49
Rozteč A [mm]	0,174	0,188	0,201	0,213	0,224
Délka nitě lo [mm]	0,040	0,038	0,035	0,034	0,32
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	29,53	27,16	25,29	23,75	22,46
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,039	0,036	0,033	0,031	0,029
Hustota tkaniny []	746,84	752,58	756,67	759,74	762,12
Objemový podíl [-]	0,661	0,666	0,669	0,672	0,674
Porozita [%]	33,9	33,4	33,0	32,7	32,5

Tabulka 70: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, T=3,33 tex, střída 18+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Jemnost vlákna t [tex]	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
Průměr vlákna [mm]	0,0194	0,0177	0,0164	0,0153	0,0144
Průměr multifilu [mm]	0,0643	0,0643	0,0643	0,0643	0,0643
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, v _o =v _ú	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2
Dostava [nití/1cm]	52	48	45	42	40
Rozteč A [mm]	0,213	0,229	0,246	0,260	0,274
Délka nitě lo [mm]	0,049	0,046	0,043	0,041	0,039
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,033	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	36,17	33,27	30,97	29,09	27,51
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,048	0,044	0,041	0,038	0,036
Hustota tkaniny []	746,84	752,58	756,67	759,74	762,12
Objemový podíl [-]	0,661	0,665	0,669	0,672	0,674
Porozita [%]	33,9	33,4	33,0	32,7	32,5

Tabulka 71: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PAD 6.6, T=4,44 tex, střída 18+2*2

PAD 6.6 Hustota 1130 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Jemnost vlákna t [tex]	0,44	0,37	0,32	0,28	0,25
Průměr vlákna [mm]	0,0224	0,0204	0,0189	0,0177	0,0167
Průměr multifilu [mm]	0,0743	0,0743	0,0743	0,0743	0,0743
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, v _o =v _ú	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2
Dostava [nití/1cm]	45	41	39	37	35
Rozteč A [mm]	0,246	0,265	0,284	0,301	0,317
Délka nitě lo [mm]	0,057	0,053	0,049	0,047	0,045
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	41,76	38,42	35,76	33,59	31,76
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,056	0,051	0,047	0,044	0,042
Hustota tkaniny []	746,84	752,58	756,67	759,74	762,12
Objemový podíl [-]	0,661	0,665	0,666	0,672	0,674
Porozita [%]	33,9	33,4	33,0	32,7	32,5

Tabulka 72: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, T=2,22 tex, střída 18+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Jemnost vlákna t [tex]	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12
Průměr vlákna [mm]	0,0144	0,0132	0,0122	0,0114	0,0107
Průměr multifilu [mm]	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, v _o =v _ú	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2
Dostava D _o =D _ú [nití/1cm]	69	64	60	57	54
Rozteč A [mm]	0,159	0,171	0,183	0,194	0,204
Délka nitě lo [mm]	0,037	0,034	0,032	0,031	0,029
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,034
Plošná hmotnost G [g/m ²]	32,39	29,80	27,74	26,05	24,64
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,036	0,033	0,030	0,028	0,027
Hustota tkaniny []	898,45	905,76	910,68	914,38	917,24
Objemový podíl [-]	0,661	0,666	0,669	0,672	0,674
Porozita [%]	33,9	33,4	33,0	32,7	32,5

Tabulka 73: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, $T=3,33$ tex, střída 18+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Jemnost vlákna t [tex]	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
Průměr vlákna [mm]	0,0175	0,0161	0,0149	0,0139	0,0132
Průměr multifilu [mm]	0,0586	0,0586	0,0586	0,0586	0,0586
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_u$	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2
Dostava [nití/1cm]	57	52	49	46	44
Rozteč A [mm]	0,194	0,209	0,224	0,237	0,250
Délka nitě lo [mm]	0,045	0,042	0,039	0,037	0,036
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	39,68	36,49	33,97	31,91	30,18
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,044	0,040	0,037	0,035	0,033
Hustota tkaniny []	898,45	905,76	910,68	914,38	917,24
Objemový podíl [-]	0,661	0,666	0,669	0,672	0,674
Porozita [%]	33,9	33,4	33,0	32,7	32,5

Tabulka 74: Výsledky predikce vlastností padákových tkanin, multifil PET, $T=4,44$ tex, střída 18+2*2

PET Hustota 1360 [kg/m ²]	Počet vláken n = 10	Počet vláken n = 12	Počet vláken n = 14	Počet vláken n = 16	Počet vláken n = 18
Jemnost multifilu T [tex]	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Jemnost vlákna t [tex]	0,44	0,37	0,32	0,28	0,25
Průměr vlákna [mm]	0,0204	0,0186	0,0172	0,0161	0,0152
Průměr multifilu [mm]	0,0677	0,0677	0,0677	0,0677	0,0677
Zploštění [-]	10	12	14	16	18
Vazba ripstop, $v_o=v_u$	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2	18+2*2
Dostava [nití/1cm]	44	41	39	36	35
Rozteč A [mm]	0,224	0,242	0,258	0,274	0,289
Délka nitě lo [mm]	0,052	0,048	0,046	0,043	0,041
Setkání Se [-]	0,052	0,044	0,038	0,034	0,030
Plošná hmotnost G [g/m ²]	45,82	42,14	39,23	36,85	34,85
Tloušťka tkaniny tl [mm]	0,051	0,047	0,043	0,040	0,038
Hustota tkaniny []	898,85	905,76	910,68	914,38	917,24
Objemový podíl [-]	0,661	0,666	0,669	0,672	0,674
Porozita [%]	33,9	33,4	33,0	32,7	32,5